

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-168280  
 (43)Date of publication of application : 25.06.1996

(51)Int.Cl. H02P 5/00  
 G05B 17/02

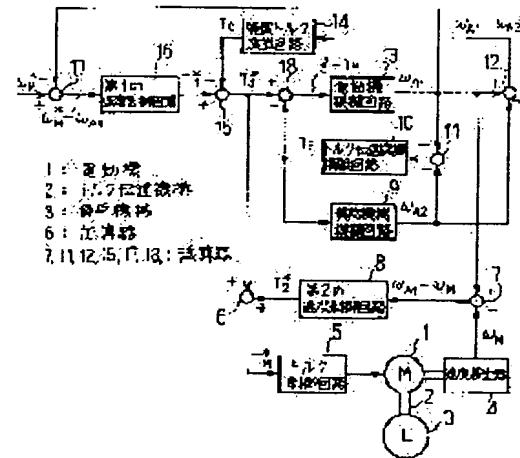
(21)Application number : 06-305012 (71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP  
 (22)Date of filing : 08.12.1994 (72)Inventor : NAGANO TETSUAKI  
 MABUCHI TATSUYA

## (54) SPEED CONTROLLER AND SPEED AND POSITION CONTROLLER FOR MOTOR

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To control the speed of a motor in a desirable state even when the inertia of a load machine changes with highspeed responsiveness and without causing any mechanical vibration.

**CONSTITUTION:** A first torque signal and compensating torque signal are respectively obtained by means of a first speed control circuit 16 and compensating torque computing circuit 14 and a third torque signal is obtained by subtracting the compensating torque signal from the first torque signal. A motor simulating circuit 13 which inputs a signal obtained by subtracting a simulating transmission torque signal from the third torque signal outputs a first simulating speed signal and a load machine simulating circuit 9 which inputs the simulating transmission torque signal outputs a second speed signal. Then a torque transmitting mechanism simulating circuit 10 outputs the simulating transmission torque signal from the first simulating speed signal and second speed signal. In addition, a torque command signal is outputted by adding a second torque signal outputted from a second speed control circuit 8 and the third torque signal and the torque of a motor is controlled based on the torque command signal.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.12.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 06.03.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3214270  
[Date of registration] 27.07.2001  
[Number of appeal against examiner's decision of 2001-05298  
rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's 05.04.2001  
decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

## 書誌

- (19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】特許公報(B2)  
(11)【特許番号】特許第3214270号(P3214270)  
(24)【登録日】平成13年7月27日(2001. 7. 27)  
(45)【発行日】平成13年10月2日(2001. 10. 2)  
(54)【発明の名称】電動機の速度制御装置並びに速度及び位置制御装置  
(51)【国際特許分類第7版】

H02P 5/00

G05B 17/02

## 【FI】

H02P 5/00 P  
F  
X

G05B 17/02

【請求項の数】6

【全頁数】28

- (21)【出願番号】特願平6-305012  
(22)【出願日】平成6年12月8日(1994. 12. 8)  
(65)【公開番号】特開平8-168280  
(43)【公開日】平成8年6月25日(1996. 6. 25)  
【審査請求日】平成11年12月13日(1999. 12. 13)

【前置審査】前置審査

(73)【特許権者】

【識別番号】000006013

【氏名又は名称】三菱電機株式会社

【住所又は居所】東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)【発明者】

【氏名】長野 鉄明

【住所又は居所】名古屋市東区矢田南五丁目1番14号 三菱電機株式会社 名古屋製作所内  
(72)【発明者】

【氏名】馬渕 達也

【住所又は居所】名古屋市東区矢田南五丁目1番14号 三菱電機株式会社 名古屋製作所内

(74)【代理人】

【識別番号】100102439

【弁理士】

【氏名又は名称】宮田 金雄(外1名)

【審査官】川端 修

(56)【参考文献】

【文献】特開 平4-317578(JP, A)

【文献】特開 平6-195128(JP, A)

【文献】特開 平4-325886(JP, A)

(58)【調査した分野】(Int. Cl. 7, DB名)

H02P 5/00

G05B 17/02

## 請求の範囲

### (57)【特許請求の範囲】

【請求項1】外部からの速度指令信号と電動機の模擬速度を示す第1の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号が前記速度指令信号に対して所望の応答特性を有するように第1のトルク信号を出力する第1の速度制御手段と、該第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号を出力する電動機モデルと、前記模擬伝達トルク信号を入力して前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する負荷機械モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力するトルク伝達機構モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力して第2のトルク信号を出力する第2の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記第2の速度制御手段からの第2のトルク信号との加算信号を入力して前記電動機の実際の速度信号が前記速度指令信号に対して所望の応答特性を有するように前記電動機のトルクを制御するトルク制御手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、を備え、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御することを特徴とする電動機の速度制御装置。

【請求項2】外部からの位置指令信号と電動機の模擬位置を示す第1の模擬位置信号との偏差信号を入力して第1の速度信号を出力する第1の位置制御手段と、前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号と前記電動機の模擬速度を示す第1の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するように第1のトルク信号を出力する第1の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号と第1の模擬位置信号を出力する電動機モデルと、前記模擬伝達トルク信号を入力して、前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する負荷機械モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力するトルク伝達機構モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記電動機の実際の位置信号との偏差信号を入力して第2の速度信号を出力する第2の位置制御手段と、前記第1の模擬速度信号と前記第2の位置制御手段からの第2の速度信号とを加算しさらに前記電動機の実際の速度信号を減算した偏差信号を入力して第2のトルク信号を出力する第2の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記第2の速度制御手段からの第2のトルク信号との加算信号を入力して前記電動機の実際の位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するように前記電動機のトルクを制御するトルク制御手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、を備え、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御することを特徴とした電動機の速度及び位置制御装置。

【請求項3】前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて前記補償トルク演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたことを特徴とする請求項1記載の電動機の速度制御装置。

【請求項4】前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて前記補償トルク演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備

えたことを特徴とする請求項2記載の電動機の速度及び位置制御装置。

【請求項5】前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬位置信号の偏差信号を入力して補償速度信号を出力する補償速度演算手段を備え、この補償速度演算手段からの補償速度信号を前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号に加えた後、前記第1の速度制御手段に供給し、前記第1の速度制御手段からの第1のトルクと前記補償トルク演算手段からの補償トルク信号に基づいて前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御することを特徴とする請求項2記載の電動機の速度及び位置制御装置。

【請求項6】前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて前記補償速度演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたことを特徴とする請求項5記載の電動機の速度及び位置制御装置。

## 詳細な説明

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、例えば、産業機械におけるX-Yテーブルや産業ロボットのアームのような負荷機械を駆動する電動機の速度および位置制御装置に関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】図30は、平成5年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集No. 201「電動機の規範モデル追従制御方式」に示された従来の電動機の速度制御装置を示すブロック図である。同図において、1は負荷となる機械類を駆動する電動機、2はこの電動機1に接続されたトルク伝達機構、3はトルク伝達機構2に接続され電動機1によって駆動される負荷機械、4は電動機1に接続され電動機1の実速度 $\omega_M$ を検出する速度検出器である。

【0003】また、50は外部からの速度指令信号 $\omega_{M*}$ と電動機1の模擬速度信号(電動機1の速度を模擬的に作成している) $\omega_A$ との偏差信号を出力するための減算器、51は速度指令信号 $\omega_{M*}$ と電動機1の模擬速度信号 $\omega_A$ の偏差信号( $\omega_{M*} - \omega_A$ )に基づき第1のトルク信号 $T_{1*}$ を出力する第1の速度制御回路、52は前記第1のトルク信号 $T_{1*}$ に基づき前記電動機の模擬速度信号 $\omega_A$ を出力する機械系模擬回路、54は前記模擬信号 $\omega_A$ と電動機1の実速度信号 $\omega_M$ との偏差信号を作るための減算器、53は減算器54で減算された前記模擬速度信号 $\omega_A$ と電動機の実際の速度 $\omega_M$ との偏差信号( $\omega_A - \omega_M$ )に基づき第2のトルク信号 $T_{2*}$ を出力する第2の速度制御回路、55は第1のトルク信号 $T_{1*}$ と第2のトルク信号 $T_{2*}$ とを加算してトルク指令信号 $T_{M*}$ を出力する加算器、5はトルク指令信号 $T_{M*}$ に基づいて電動機1を制御するトルク制御回路である。

【0004】次に図30の動作について説明する。外部から速度指令信号 $\omega_{M*}$ が入力されると減算器50において、この速度指令信号 $\omega_{M*}$ と機械系模擬回路52からの模擬速度信号 $\omega_A$ との偏差信号( $\omega_{M*} - \omega_A$ )を作成し、第1の速度制御回路51に供給する。第1の速度制御回路51は前記偏差信号( $\omega_{M*} - \omega_A$ )をゲイン $k_{v1}$ で比例増幅して第1のトルク信号 $T_{1*}$ を出力する。機械系模擬回路52は、電動機1とトルク伝達機構2と負荷機械3の3つのイナーシャを合算したイナーシャJAでモデル化したものであり、前記第1のトルク信号 $T_{1*}$ を入力して積分し模擬速度信号 $\omega_A$ を出力する。この減算器50、第1の速度制御回路51、機械系模擬回路52から成る回路系統において模擬速度信号 $\omega_A$ が速度指令信号 $\omega_{M*}$ に追従するように制御される。

【0005】この動作について以下に説明する。速度指令信号 $\omega_{M*}$ を変えると、模擬速度信号 $\omega_A$ と速度指令信号 $\omega_{M*}$ との間に速度のずれが生じる。この場合、模擬速度信号 $\omega_A$ が速度指令信号 $\omega_{M*}$ よりも遅い時には減算器50の出力である速度指令信号 $\omega_{M*}$ と模擬速度信号 $\omega_A$ との偏差( $\omega_{M*} - \omega_A$ )は正の値を示し、これが第1の速度制御回路51においてゲイン $k_{v1}$ で比例増幅されて第1のトルク信号 $T_{1*}$ を出力する。この第1のトルク信号 $T_{1*}$ は一方ではトルク制御回路5に供給されて電動機1を制御するが、同時に正の値で機械系模擬回路52に入力されるので模擬速度信号 $\omega_A$ は加速され、速度指令信号 $\omega_{M*}$ に近付く。逆に模擬速度信号 $\omega_A$ が速度指令信号 $\omega_{M*}$ よりも速い時には減算器5

0の出力である速度指令信号 $\omega M^*$ と模擬速度信号 $\omega A$ との偏差信号( $\omega M^* - \omega A$ )は負の値を示し、これが第1の速度制御回路51においてゲイン $k_{v1}$ で比例増幅されて第1のトルク信号 $T1^*$ を出力する。この第1のトルク信号 $T1^*$ は負の値で機械系模擬回路52に入力されるので模擬速度信号 $\omega A$ は減速され、速度指令信号 $\omega M^*$ に近付く。このようにして模擬速度信号 $\omega A$ が速度指令信号 $\omega M^*$ に追従するように制御される。

【0006】一方、電動機1はトルク伝達機構2を介して負荷機械3を駆動し、速度検出器4は電動機1の実際の速度を検出して実速度信号 $\omega M$ を出力する。従って、前記模擬速度信号 $\omega A$ と外乱を含む実速度信号 $\omega M$ とは減算器54で減算され、偏差信号( $\omega A - \omega M$ )を出力する。次に第2の速度制御回路53は前記模擬速度信号 $\omega A$ と外乱を含む実速度信号 $\omega M$ との偏差信号( $\omega A - \omega M$ )を比例ゲイン $k_{v2}$ 、積分ゲイン $k_{i2}$ で比例積分増幅(比例は外乱の過渡応答信号を作成し、積分は外乱の定常応答信号を作成する)して第2のトルク信号 $T2^*$ を出力する。トルク制御回路5はこの第2のトルク信号 $T2^*$ に基づいて電動機1を制御して、電動機1の実速度信号 $\omega M$ を模擬速度信号 $\omega A$ に追従させることも可能であるが追従に時間がかかるので、加速するために前記第2のトルク信号 $T2^*$ に前記第1のトルク信号 $T1^*$ を加算器55によって加算してトルク指令信号 $TM^*$ を出力している。トルク制御回路5はこのトルク指令信号 $TM^*$ に基づいて電動機1を制御する。

【0007】以上の動作により、電動機や負荷機械やトルク伝達機構に外乱が加わっても実速度信号 $\omega M$ は模擬速度信号 $\omega A$ に追従できる。この動作について以下に説明する。負荷機械や電動機の摩擦などで発生する外乱トルクにより実速度信号 $\omega M$ が模擬速度信号 $\omega A$ よりも遅い時には減算器54の出力である模擬速度信号 $\omega A$ と外乱を含む実速度信号 $\omega M$ との偏差( $\omega A - \omega M$ )は正の値を示し、これが第2の速度制御回路53で比例積分増幅されて第2のトルク信号 $T2^*$ を出力する。この信号は現在のトルク指令信号 $TM^*$ に加えられるので電動機1に対して加速するので実速度信号 $\omega M$ は模擬速度信号 $\omega A$ に近付く。逆に実速度信号 $\omega M$ が模擬速度信号 $\omega A$ よりも速い時には減算器54の出力である模擬速度信号 $\omega A$ と外乱を含む実速度信号 $\omega M$ との偏差( $\omega A - \omega M$ )は負の値を示し、これが第2の速度制御回路53で比例積分増幅されて第2のトルク信号 $T2^*$ を出力する。この信号は現在のトルク指令信号 $TM^*$ に加えられるので電動機1に対して減速するので実速度信号 $\omega M$ は模擬速度信号 $\omega A$ に近付く。このようにして実速度信号 $\omega M$ が模擬速度信号 $\omega A$ に追従するように制御される。

【0008】次に、図31は、平成4年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集No. 178「規範システムモデルを適用した電動機の2自由度位置制御方式」に示された従来の電動機の位置制御方式を示すブロック図である。同図中、図30の符号と同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。同図において、56は外部からの位置指令信号 $\theta M^*$ と模擬位置信号 $\theta A$ との偏差信号を出力するための減算器、57は位置指令信号 $\theta M^*$ と模擬位置信号 $\theta A$ との偏差信号( $\theta M^* - \theta A$ )に基づき第1の速度制御信号 $\omega 1^*$ を出力する第1の位置制御回路、58は第1のトルク信号 $T1^*$ を入力して模擬位置信号 $\theta A$ を出力する機械系模擬回路、58aは第1のトルク信号 $T1^*$ に基づき電動機の模擬速度信号 $\omega A$ を作る積分器、58bは電動機の模擬速度信号 $\omega A$ に基づいて電動機の模擬位置信号 $\theta A$ を作る積分器である。積分器58aと積分器58bとから機械系模擬回路58が構成される。

【0009】また、19は電動機1の速度及び位置を検出して実速度信号 $\omega M$ 及び実位置信号 $\theta M$ を出力する位置速度検出器、59は模擬位置信号 $\theta A$ と実位置信号 $\theta M$ との偏差信号( $\theta A - \theta M$ )を出力するための減算器、60は模擬位置信号 $\theta A$ と実位置信号 $\theta M$ との偏差信号( $\theta A - \theta M$ )に基づいて第2の速度信号 $\omega 2^*$ を出力するための第2の位置制御回路、61は模擬速度信号 $\omega A$ と第2の速度信号 $\omega 2^*$ とを加算するための加算器、62はこの加算器61からの速度信号と位置速度検出器19からの実速度出力信号 $\omega M$ との偏差を出力するための減算器である。

【0010】次に図31の動作について説明する。外部から位置指令信号 $\theta M^*$ が入力されると位置指令信号 $\theta M^*$ は減算器56において、模擬位置信号 $\theta A$ によって減算され、偏差信号( $\theta M^* - \theta A$ )が出力される。この位置指令信号 $\theta M^*$ と模擬位置信号 $\theta A$ との偏差信号( $\theta M^* - \theta A$ )は第1の位置制御回路57においてゲイン $k_{p1}$ で比例増幅され、第1の速度信号 $\omega 1^*$ が出力される。この第1の速度信号 $\omega 1^*$ は減算器50において模擬速度信号 $\omega A$ によって減算され、第1の速度信号 $\omega 1^*$ と模擬速度信号 $\omega A$ との偏差信号( $\omega 1^* - \omega A$ )が出力される。第1の速度制御回路51は第1の速度信号 $\omega 1^*$ と模擬速度信号 $\omega A$ との偏差信号( $\omega 1^* - \omega A$ )をゲイン $k_{v1}$ で比例増幅して第1のトルク信号 $T1^*$ を出力する。機械系模擬回路58の積分器58aは、電動機1とトルク伝達機構2と負荷機械3の3つのイナーシャを合算したイ

ナーシャJAでモデル化したものであり、第1のトルク信号T1\*を積分器58aで積分し模擬速度信号 $\omega_A$ を出力し、模擬速度信号 $\omega_A$ を積分器58bでさらに積分して模擬位置信号 $\theta_A$ を出力する。この減算器56から積分器58bに至る回路で構成される回路系統において模擬位置信号 $\theta_A$ が位置指令信号 $\theta M*$ に追従するように制御される。これにより、第1の速度制御回路によって電動機の速度と共に位置が粗く調整されるが、最終的な電動機の位置の微調整はこの第1の位置制御回路によって行なわれる。

【0011】この動作について以下に説明する。模擬位置信号 $\theta_A$ が位置指令信号 $\theta M*$ よりも遅れている時には減算器56で出力される位置指令信号 $\theta M*$ と模擬位置信号 $\theta_A$ との偏差信号( $\theta M* - \theta A$ )は正の値を示し、これが第1の位置制御回路57でゲイン $k_{p1}$ で比例増幅されて第1の速度信号 $\omega_{1*}$ を出力する。この第1の速度信号 $\omega_{1*}$ は減算器50において、模擬速度信号 $\omega_A$ で減算され偏差信号( $\omega_{1*} - \omega_A$ )を出力する。この第1の速度信号 $\omega_{1*}$ と模擬速度信号 $\omega_A$ との偏差信号( $\omega_{1*} - \omega_A$ )は第1の速度制御回路51でゲイン $k_{v1}$ で比例増幅されて第1のトルク信号T1\*を出力する。この第1のトルク信号T1\*は一方ではトルク制御回路に供給されて電動機1を制御するが、同時に機械系模擬回路58の積分器58aに正の値で供給される。従って、積分器58aの出力である模擬速度信号 $\omega_A$ は正の値を示し、この模擬速度信号 $\omega_A$ は積分器58bで積分され、( $\theta M* - \theta A$ )に対応した位置信号を正の方向に出力するので模擬位置信号 $\theta A$ は位置指令信号 $\theta M*$ に近付く。

【0012】逆に、模擬位置信号 $\theta_A$ が位置指令信号 $\theta M*$ よりも進んでいる時には減算器56で出力される位置指令信号 $\theta M*$ と模擬位置信号 $\theta_A$ との偏差信号( $\theta M* - \theta A$ )は負の値を示し、これが第1の位置制御回路57でゲイン $k_{p1}$ で比例増幅されて第1の速度信号 $\omega_{1*}$ を出力する。この第1の速度信号 $\omega_{1*}$ は減算器50において、模擬速度信号 $\omega_A$ で減算され偏差信号( $\omega_{1*} - \omega_A$ )を出力する。この第1の速度信号 $\omega_{1*}$ と模擬速度信号 $\omega_A$ との偏差信号( $\omega_{1*} - \omega_A$ )は第1の速度制御回路51でゲイン $k_{v1}$ で比例増幅されて第1のトルク信号T1\*を出力する。この第1のトルク信号T1\*は一方ではトルク制御回路5に供給されて電動機1を制御するが、同時に機械系模擬回路58の積分器58aに負の値で供給される。従って、積分器58aの出力である模擬速度信号 $\omega_A$ は負の値を示し、この模擬速度信号 $\omega_A$ は積分器58bで積分され、( $\theta M* - \theta A$ )に対応した位置信号を負の方向に出力するので模擬位置信号 $\theta A$ は位置指令信号 $\theta M*$ に近付く。

【0013】一方、模擬位置信号 $\theta A$ は減算器59において外乱を含む実位置信号 $\theta M$ によって減算され偏差信号( $\theta A - \theta M$ )が出力され、模擬位置信号 $\theta A$ と外乱を含む実位置信号 $\theta M$ との偏差信号( $\theta A - \theta M$ )は第2の位置制御回路60においてゲイン $k_{p2}$ で比例増幅され、第2の速度信号 $\omega_{2*}$ が出力される。この第2の速度信号 $\omega_{2*}$ は追従精度の向上を目的として、加算器61において模擬速度信号 $\omega_A$ と加算した後、減算器62において位置速度検出器19からの外乱を含む実速度信号 $\omega_M$ で減算して( $\omega_{2*} + \omega_A - \omega_M$ )を出力する。この信号は第2の速度信号 $\omega_{2*}$ と、前記模擬速度信号 $\omega_A$ と外乱を含む実速度信号 $\omega_M$ との偏差信号( $\omega_A - \omega_M$ )との和を意味する。次に第2の速度制御回路53は前記第2の速度信号 $\omega_{2*}$ と、前記模擬速度信号 $\omega_A$ と外乱を含む実速度信号 $\omega_M$ との偏差信号( $\omega_A - \omega_M$ )とを加算した信号( $\omega_{2*} + \omega_A - \omega_M$ )をゲイン $k_{v2}$ 、積分ゲイン $k_{i2}$ で比例積分増幅(比例は外乱の過渡応答信号を作成し、積分は外乱の定常応答信号を作成する)して第2のトルク信号T2\*を出力する。

【0014】トルク制御回路5はこの第2のトルク信号T2\*に従って電動機1を制御して、電動機1の実速度信号 $\omega_M$ を模擬速度信号 $\omega_A$ に追従させることも可能であるが追従に時間がかかるので、加速するために前記第2のトルク信号T2\*に前記第1のトルク信号T1\*を加算器55によって加算してトルク指令信号 $TM*$ を出力している。トルク制御回路5はこのトルク指令信号 $TM*$ に基づいて電動機1を制御する。このようにして電動機1の位置が変化しても図30に示したのと同様に電動機の位置は模擬位置信号に追従するように制御される。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】図30に示した従来の電動機の速度制御装置においては、速度指令信号に対する応答(目標値応答)は第1の速度制御回路のゲインで調節でき、外乱に対する応答(外乱応答)は第2の速度制御回路のゲインで調節ができるので、速度指令信号と電動機の速度検出信号とを比較しその偏差が減少するように制御する単純なフィードバック制御よりも目標値応答を上げられるという利点がある。しかし、機械系モデルを電動機とトルク伝達機構と負荷機械を合算した単なるイナーシャJAとしてモデル化しているので、例えばXYテーブルやロボットアームに使われるボール

ネジや減速器などのトルク伝達機構の剛性が低い場合、目標値応答を上げるために第1の速度制御回路のゲインを上げたり、速度指令信号の立ち上がりを速くしたりすると応答が振動的になってしまふという問題点があった。また、ワークの変化などによって負荷機械のイナーシャが変化した場合に、機械系モデルの定数や速度制御回路のゲインを修正する機能がないために応答特性が変化したり制御が不安定になったりする場合があるという問題点もあった。

【0016】また、図31に示した従来の電動機の位置制御装置においては、位置指令信号に対する応答(目標値応答)は第1の位置制御回路および第1の速度制御回路のゲインで調節でき、外乱に対する応答(外乱応答)は第2の位置制御回路および第2の速度制御回路のゲインで調節ができるので、位置指令信号と電動機の位置および速度検出信号とを比較しその偏差が減少するように制御する単純なフィードバック制御よりも目標値応答を上げられるという利点がある。しかし、図30の従来の電動機の速度制御装置の場合と同様に、目標値応答を上げるために第1の位置制御回路および第1の速度制御回路のゲインを上げたり、位置指令信号の立ち上がりを速くしたりすると応答が振動的になってしまふという問題点があった。また、ワークの変化などによって負荷機械のイナーシャが変化した場合に、機械系モデルの定数や速度制御回路のゲインを修正する機能がないために応答特性が変化したり制御が不安定になったりする場合があるという問題点もあった。また、従来の機械系模擬回路は電動機とトルク伝達機構と負荷機械とを合算した単なるイナーシャとしてモデル化していたので、このイナーシャの最適値を求める場合には通常複数回試行を行ない、設定の都度最適か否かの判断をする必要があり、最適値設定に時間を要するという問題があった。

【0017】この発明はかかる問題点を解決するためになされたものであり、外部からの速度指令信号や位置指令信号に対する高速応答性を有するとともに、機械振動を発生せず、かつ負荷機械のイナーシャが変化しても所望の応答が得られる電動機の速度および位置制御装置を得ることを目的としている。また、イナーシャの値の設定が短時間にできることを目的としている。

【0018】

【課題を解決するための手段】第1の発明に係る電動機の速度制御装置は、外部からの速度指令信号と電動機の模擬速度を示す第1の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号が前記速度指令信号に対して所望の応答特性を有するように第1のトルク信号を出力する第1の速度制御手段と、該第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号を出力する電動機モデルと、前記模擬伝達トルク信号を入力して前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する負荷機械モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力するトルク伝達機構モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力して第2のトルク信号を出力する第2の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記第2の速度制御手段からの第2のトルク信号との加算信号を入力して前記電動機の実際の速度信号が前記速度指令信号に対して所望の応答特性を有するように前記電動機のトルクを制御するトルク制御手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、を備え、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御するようにしたものである。

【0019】第2の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置は、外部からの位置指令信号と電動機の模擬位置を示す第1の模擬位置信号との偏差信号を入力して第1の速度信号を出力する第1の位置制御手段と、前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号と前記電動機の模擬速度を示す第1の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するように第1のトルク信号を出力する第1の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号と第1の模擬位置信号を出力する電動機モデルと、前記模擬伝達トルク信号を入力して、前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する負荷機械モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差信

号を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力するトルク伝達機構モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記電動機の実際の位置信号との偏差信号を入力して第2の速度信号を出力する第2の位置制御手段と、前記第1の模擬速度信号と前記第2の位置制御手段からの第2の速度信号とを加算しさらに前記電動機の実際の速度信号を減算した偏差信号を入力して第2のトルク信号を出力する第2の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記第2の速度制御手段からの第2のトルク信号との加算信号を入力して前記電動機の実際の位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するように前記電動機のトルクを制御するトルク制御手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、を備え、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御するようにしたものである。

【0020】

【0021】

【0022】

【0023】第3の発明に係る電動機の速度制御装置は、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて補償トルク演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたものである。

【0024】第4の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置は、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて補償トルク演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたものである。

【0025】第5の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置は、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬位置信号の偏差信号を入力して補償速度信号を出力する補償速度演算手段を備え、この補償速度演算手段からの補償速度信号を第1の位置制御手段からの第1の速度信号に加えた後、第1の速度制御手段に供給し、前記第1の速度制御手段からの第1のトルクと前記補償トルク演算手段からの補償トルク信号とにに基づいて前記電動機モデル又はトルク制御手段を制御するものである。

【0026】第6の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置は、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて前記補償速度演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたものである。

【0027】

【作用】この第1の発明に係る電動機の速度制御装置において、電動機モデルは第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルク信号を示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して第1の模擬速度信号を出力する。また、負荷機械モデルは模擬伝達トルク信号を入力して電動機にトルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する。また、トルク伝達機構モデルは電動機モデルからの第1の模擬速度信号と負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差を入力して模擬伝達トルク信号を出力する。また、補償トルク演算手段は前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する。また、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御する。

【0028】この第2の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置において、第1の位置制御手段は外部からの位置指令信号と電動機の模擬位置を示す第1の模擬位置信号との偏差信号を入力して第1の速度信号を出力する。また、第1の速度制御手段は前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号と前記電動機の模擬速度を示す第1の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するように第1のトルク信号を出力す

る。また、電動機モデルは前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号と第1の模擬位置信号を出力する。また、負荷機械モデルは前記模擬伝達トルク信号を入力して、前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する。

【0029】また、トルク伝達機構モデルは前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力する。また、第2の位置制御手段は前記電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記電動機の実際の位置信号との偏差信号を入力して第2の速度信号を出力する。また第2の速度制御手段は前記第1の模擬速度信号と前記第2の位置制御手段からの第2の速度信号とを加算しさらに前記電動機の実際の速度信号を減算した偏差信号を入力して第2のトルク信号を出力する。また、トルク制御手段は前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記第2の速度制御手段からの第2のトルク信号との加算信号を入力して前記電動機の実際の位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するように前記電動機のトルクを制御する。また、補償トルク演算手段は前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する。また、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又は前記トルク制御手段を制御する。

【0030】

【0031】

【0032】

【0033】この第3の発明に係る電動機の速度制御装置又は電動機の速度及び位置制御装置において、イナーシャ同定手段は電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を逐次出力する。また、ゲイン修正手段はこのイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づき前記補償トルク演算手段のゲインを修正する。

【0034】この第4の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置において、イナーシャ同定手段は電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を逐次出力する。また、ゲイン修正手段はこのイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づき補償トルク演算手段のゲインを修正する。

【0035】この第5の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置において、補償トルク演算手段は電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する。また、補償速度演算手段は電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬位置信号の偏差信号を入力して補償速度信号を出力し、この補償速度演算手段からの補償速度信号を前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号に加えた後、前記第1の速度制御手段に供給し、前記第1の速度制御手段からの第1のトルクと前記補償トルク演算回路からの補償トルク信号とにに基づいて前記電動機モデル又は前記トルク制御回路を制御する。

【0036】この第6の発明に係る電動機の速度及び位置制御装置において、イナーシャ同定手段は電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を逐次出力する。また、ゲイン修正手段はこのイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて補償速度演算手段のゲインを修正する。

【0037】

【実施例】実施例1.

図1はこの発明の実施例の全体の構成を示すブロック図である。同図において、図30の符号と同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。17は速度指令信号 $\omega M^*$ と第1の模擬速度信号 $\omega A1$ との減算を行ない偏差信号( $\omega M^* - \omega A1$ )を出力する減算器、15は第1の速度制御回路16から出力された第1のトルク信号 $T1^*$ から後述の補償トルク演算回路14の出力 $Tc$ を減じて第3のトルク信号 $T3^*$ を出力する減算器、18は第3のトルク信号 $T3^*$ と後述のトルク伝達機構模擬回路10の出力である模擬伝達トルク信号 $TF$ との偏差信号( $T3^* - TF$ )を出力する減算器、13は電動機1の伝達関数を模擬するとともに偏差信号( $T3^* - TF$ )を入力して第1の模擬速度信号 $\omega A1$ を出

力する電動機模擬回路、11は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ から後述の第2の模擬速度信号 $\omega A2$ を減じて偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を出力する減算器、10はトルク伝達機構2の伝達間数を模擬するとともに減算器11から出力される偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を入力して模擬伝達トルク信号TFを出力するトルク伝達機構模擬回路である。

【0038】また、9は負荷機械3の伝達間数を模擬するとともにトルク信号TFを入力して第2の模擬速度信号 $\omega A2$ を出力する負荷機械模擬回路、12は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ から第2の模擬速度信号 $\omega A2$ を減じて偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を出力する減算器、14は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と第2の模擬速度信号 $\omega A2$ との偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を入力して負荷機械が速度指令信号 $\omega M*$ に追従するように補償トルク信号TCを出力する補償トルク演算回路、7は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ から電動機1の実速度信号 $\omega M$ を減じて偏差信号( $\omega A1 - \omega M$ )を出力する減算器、8は速度偏差( $\omega A1 - \omega M$ )が減少するように第2のトルク信号 $T2*$ を出力して実速度信号 $\omega M$ が第1の模擬速度信号 $\omega A1$ に追従するように制御する第2の速度制御回路、6は第3のトルク信号 $T3*$ と第2のトルク信号 $T2*$ を合算してトルク指令信号 $TM*$ を出力する加算器である。

【0039】また、図2は電動機とトルク伝達機構と負荷機械からなる実際の機械系の構成を示すものである。同図中、図1の符号と同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。電動機1と負荷機械3は低剛性の軸によって接続されているものとしている。

【0040】図3は図2の機械系に対応する図1の電動機模擬回路13、トルク伝達機構模擬回路10及び負荷機械模擬回路9のブロック図である。同図において、101は第3のトルク指令 $T3*$ と模擬伝達トルク信号TFとの偏差( $T3* - TF$ )に電動機のイナーシャJMの逆数を乗じ、積分して模擬速度信号 $\omega A1$ を出力する積分器、102は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と第2の模擬速度信号 $\omega A2$ の偏差( $\omega A1 - \omega A2$ )を積分して、バネ定数KFを乗じて、模擬伝達トルク信号TFを出力する積分器、103は模擬伝達トルク信号TFを入力して負荷機械のイナーシャJLの逆数(1/JL)を乗じて積分し第2の模擬速度信号 $\omega A2$ を出力する積分器である。

【0041】この電動機模擬回路、負荷機械模擬回路、トルク伝達機構模擬回路を分離することによりゲインの設定を従来よりも容易にかつ正確に行なうことができる。

【0042】図4は補償トルク演算回路14のブロック図である。同図において104はゲインkCVの係数器、105は積分ゲインkCPの積分器、106は係数器104の出力と積分器105の出力を合算する加算器である。

【0043】次に図4の動作について説明する。補償トルク演算回路14は図1の第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と第2の模擬速度信号 $\omega A2$ との偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )をゲインkCV、積分ゲインkCPで比例積分増幅した補償トルク信号TCを出力し、電動機1の応答を模擬する電動機模擬回路13の出力である第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と負荷機械3の応答を模擬する負荷機械模擬回路9の出力である第2の模擬速度信号 $\omega A2$ との偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を減少させることができる。

【0044】図5は第1の速度制御回路16のブロック図である。同図において、107は速度偏差信号( $\omega M* - \omega A1$ )をゲインkv1で比例増幅して第1のトルク信号 $T1*$ を出力する係数器である。

【0045】図5のように構成することにより、第1の速度制御回路16は、第1の模擬速度信号 $\omega A1$ が速度指令信号 $\omega M*$ に追従するように制御できる。

【0046】図6は第2の速度制御回路8のブロック図である。同図において、108はゲインkv2の係数器、109は積分ゲインki2の積分器、110は係数器108と積分器109の出力を合算し、第2のトルク信号 $T2*$ を出力する加算器である。

【0047】次に図6の動作について図1を参照しながら説明する。図1の第2の速度制御回路8は速度偏差信号( $\omega A1 - \omega M$ )をゲインkv2、積分ゲインki2で比例積分増幅したトルク信号 $T2*$ を出力するので、外乱トルクが加わった場合でも電動機1の速度 $\omega M$ が第1の模擬速度信号 $\omega A1$ に追従するように制御できる。前述のように第1の速度制御回路16によって $\omega A1$ は $\omega M*$ に追従するように制御されるから、最終的に電動機1の速度 $\omega M$ は速度指令信号 $\omega M*$ に追従するように制御される。ここで第2の速度制御回路の入力を( $\omega M* - \omega M$ )ではなく、( $\omega A1 - \omega M$ )にした理由について説明する。第1の模擬速度信号 $\omega A1$ は主として第1の速度制御回路16の作用により、速度指令信号 $\omega M*$ に対してある応答周波数で応答するから、第1の模擬速度信号 $\omega A1$ は速度指令信号 $\omega M*$ にローパスフィルタかけたような信号となる。二つの速度偏差信号( $\omega A1 - \omega M$ )と( $\omega M* - \omega M$ )を比較した場合、前者の方が高周

波成分が少ない滑らかな信号となる。したがって、第2の速度制御回路8の入力として( $\omega A1 - \omega M$ )を使った方が機械振動を誘発しにくい第2のトルク信号T2\*が得られる。

【0048】図7にトルク制御回路5のブロック図を示す。同図において、111はトルク指令信号TM\*にトルク定数ktの逆数を乗じて電流指令信号IM\*に変換する係数器、112は電動機1の電流IMを検出する電流検出器、113は電動機1の電流IMが電流指令IM\*に追従するように電動機1に電圧Vを印加する電流制御回路である。

【0049】図7のように構成することによって、トルク制御回路5は電動機1の出力トルクがトルク指令信号TM\*に追従するように制御できる。電流制御回路113の詳細な構成については、例えば、「ACサーボシステムの理論と設計の実際」、総合電子出版社、1990年、P80～P85、P153～P155に記載されている。

【0050】次に各制御回路のゲインの設計方法について説明する。トルク制御の応答は通常速度制御の応答に比べ十分速いのでトルク制御回路5の伝達関数は1とおける。電動機模擬回路13は電動機1の伝達関数を模擬するように設計される。同様にトルク伝達機構模擬回路10及び負荷機械模擬回路9はそれぞれ、トルク伝達機構2の伝達関数及び負荷機械3の伝達関数を模擬するように設計される。このとき電動機1の実速度信号 $\omega M$ と電動機模擬回路13の第1の模擬速度信号 $\omega A1$ は一致する。すなわち速度指令信号 $\omega M*$ から電動機1の実速度信号 $\omega M$ までの伝達関数は、速度指令信号 $\omega M*$ から第1の模擬速度信号 $\omega A1$ までの伝達関数に一致する。同様に負荷機械3の実速度信号 $\omega L$ と負荷機械模擬回路9の出力 $\omega A2$ は一致し、速度指令信号 $\omega M*$ から負荷機械3の実速度信号 $\omega L$ までの伝達関数は速度指令信号 $\omega M*$ から第2の模擬速度信号 $\omega A2$ までの伝達関数に一致する。速度指令信号 $\omega M*$ から電動機1の実速度信号 $\omega M$ までの伝達関数をGVM、速度指令信号 $\omega M*$ から負荷機械3の実速度信号 $\omega L$ までの伝達関数をGVLとすると、それぞれ式(1)、式(2)で表される。

【0051】

【数1】

$$G_{VM} = \frac{k_{V1} (S^2 + \omega_z^2)}{J_M \left[ S^3 + \frac{k_{CV} + k_{V1}}{J_M} S^2 + \left( \frac{k_{CP}}{J_M} + \omega_s^2 \right) S + \frac{k_{V1}}{J_M} \omega_z^2 \right]} \quad \dots \dots (1)$$

【0052】

【数2】

$$G_{VL} = \frac{k_{V1} \omega_z^2}{J_M \left[ S^3 + \frac{k_{CV} + k_{V1}}{J_M} S^2 + \left( \frac{k_{CP}}{J_M} + \omega_s^2 \right) S + \frac{k_{V1}}{J_M} \omega_z^2 \right]} \quad \dots \dots (2)$$

【0053】ただし、 $\omega_s$ は機械共振周波数、 $\omega_z$ は反共振周波数であり、次式のように表される。

【0054】

【数3】

$$\omega_s = \sqrt{K_F \left( \frac{1}{J_M} + \frac{1}{J_L} \right)} \quad \dots \dots (3)$$

【0055】

【数4】

$$\omega_z = \sqrt{\frac{\omega_s}{1 + \frac{J_L}{J_M}}} \quad \dots \dots (4)$$

【0056】式(1)、式(2)に示した伝達関数GVM、GVLの各項の係数は、補償トルク演算回路14のゲイン $k_{CV}$ 、 $k_{CP}$ および第1の速度制御回路16のゲイン $k_{V1}$ によって操作できるので、所望の目標値応答特性を得ることができる。

【0057】ここで、電動機の速度制御装置と図30に示した従来の電動機の速度制御装置との制御特

性をシミュレーションによって比較する。制御対象は両者とも図2で示した電動機でトルク伝達機構である低剛性な軸を介して負荷機械を駆動する機械系とする。ここで、電動機のイナーシャJM、負荷機械のイナーシャJL、低剛性軸のバネ定数KFを式(5)のように設定する。ただし、低剛性軸のイナーシャは無視する。

【0058】

【数5】

$$J_m = 1, \quad J_L = 1, \quad K_F = 0.5 \quad \dots \quad (5)$$

【0059】まず、図32は前述の従来の電動機の速度制御装置において、速度指令ステップ状に与えた場合の目標値応答のシミュレーション結果を示す図である。同図(a)は、第1の速度制御回路のゲインkv1、第2の速度制御回路のゲインkv2, kI2を式(5)のように設定した場合であり、応答は振動的ではないものの応答性は低いことがわかる。

【0060】

【数6】

$$k_{v1} = 0.28, \quad k_{v2} = 1.1, \quad k_{i2} = 0.055 \quad \dots \quad (6)$$

【0061】また、同図(b)は、応答性を上げるために各ゲインを式(6)のように設定した場合であり、応答は非常に振動的であることがわかる。

【0062】

【数7】

$$k_{v1} = 1.1, \quad k_{v2} = 1.1, \quad k_{i2} = 0.055 \quad \dots \quad (7)$$

【0063】次に、この発明の電動機の速度制御回路のシミュレーション結果を示す。第1の速度制御回路および第2の速度制御回路のゲインは前述の従来の電動機の速度制御回路の場合と同じく式(7)のように設定した。また、補償トルク演算回路14のゲインkcp, kcvは式(8)のように設定した。

【0064】

【数8】

$$k_{v1} = 1.1, \quad k_{v2} = 1.1, \quad k_{i2} = 0.055, \quad k_{cp} = 0.65, \quad k_{cv} = 0.67 \quad \dots \quad (8)$$

【0065】図8は速度指令信号 $\omega_M$ をステップ状に与えた場合の目標値応答のシミュレーション結果を示す図である。図32(b)で示したように、従来技術では第1および第2の速度制御回路のゲインが式(8)の設定では応答が非常に振動的であるのに対し、図8では負荷機械の速度 $\omega_L$ の応答は高速でかつオーバーシュートのない良好な応答特性を示している。したがって、この発明による電動機の速度制御装置の方が図30に示した従来の電動機の速度制御装置よりも優れていることがわかる。

【0066】以上のように、従来の機械系模擬回路を電動機模擬装置、負荷機械模擬装置、トルク伝達機構模擬装置の各モデルに分けたので、モデル毎のゲイン設定が容易かつ高速度にできる。また、補償トルク演算回路を設けたので、図8における負荷機械の速度 $\omega_L$ の応答の高速でかつオーバーシュートのない良好な応答特性を得ることが可能である。

【0067】実施例2. 尚、実施例1では補償トルク演算回路が付加された場合について説明したが、補償トルク演算回路が付かない場合でも動作するのはいうまでもない。この場合、図1において減算器12、補償トルク演算回路14、減算器15を省いた回路となる。ここでは従来の機械系模擬回路を電動機模擬装置、負荷機械模擬装置、トルク伝達機構模擬装置の各モデルに分けたので、モデル毎のゲイン設定が容易かつ高速度にできる。

【0068】実施例3. 次に、この発明の別の実施例について図9～図13を参照しながら説明する。図9は図1に示された電動機の速度制御回路に位置制御回路を付加した回路のブロック図である。同図において、同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。24は位置指令信号 $\theta_M$ と後述の第1の模擬位置信号 $\theta_{A1}$ との偏差信号( $\theta_M - \theta_{A1}$ )を出力する減算器、25は位置指令信号 $\theta_M$ と第1の模擬位置信号 $\theta_{A1}$ との偏差信号( $\theta_M - \theta_{A1}$ )が減少するように第1の速度信号 $\omega_{1*}$ を出力して $\theta_{A1}$ が $\theta_M$ に追従するように制御する第1の位置制御回路、26は第1の位置制御回路25の出力である第1の速度信号 $\omega_{1*}$ から第1の模擬速度信号 $\omega_{A1}$ を減じて偏差信号( $\omega_{1*} - \omega_{A1}$ )を出力する減算器、19は電動機1の実速度及び実位置を検出して実速度信号 $\omega_M$ 及び実位置信号 $\theta_M$ を出力す

る位置速度検出器、20は後述の第1の位置信号θA1と実位置信号θMとの偏差信号(θA1-θM)を出力する減算器である。

【0069】また、21は第1の位置信号θA1と実位置信号θMとの偏差信号(θA1-θM)が減少するよう第2の速度信号ω2\*を出力してθMがθA1に追従するように制御する第2の位置制御回路、22は第1の速度信号ωA1と第2の速度信号ω2\*を合算する加算器、23は加算器22の出力から実速度信号ωMを減じて偏差信号(ω2\*+ωA1-ωM)を出力する減算器、27は電動機1の伝達関数を模擬とともに(T3\*-TF)を入力して第1の模擬位置信号θA1および第1の模擬速度信号ωA1を出力する電動機模擬回路である。その他のブロックは図1と同様であるので説明は省略する。

【0070】以下、各部について図10～図12を用いて説明する。図10は第1の位置制御回路25のブロック図である。同図において、201は位置偏差(θM\*-θA1)を比例増幅して第1の速度信号ω1\*を出力するゲインkP1の係数器である。

【0071】図10のように構成すると、第1の模擬位置信号θA1が位置指令信号θM\*に追従するように制御できる。

【0072】図11は第2の位置制御回路21のブロック図である。同図において、202は位置偏差(θA1-θM)を比例増幅して第2の速度信号ω2\*を出力するゲインkP2の係数器である。

【0073】次に図11の動作について図9を参照しながら説明する。外乱トルクTLが加わった場合でも、θMがθA1に追従するように制御できる。前述のようにθA1はθM\*に追従するように制御されるから、最終的に電動機1の位置θMは位置指令信号θM\*に追従するように制御される。ここで第2の位置制御回路の入力を(θM\*-θM)ではなく、(θA1-θM)にした理由について説明する。第1の模擬位置信号θA1は主として第1の位置制御回路25および第1の速度制御回路16の作用により、位置指令信号θM\*に対してある応答周波数で応答するから、第1の模擬位置信号θA1は位置指令信号θM\*にローパスフィルタかけたような信号となる。二つ位置偏差信号(θA1-θM)と(θM\*-θM)を比較した場合、前者の方が高周波成分が少ない滑らかな信号となる。したがって、外乱が加わった状態で位置指令信号が変化するような場合、第2の位置制御回路21の入力として(θA1-θM)を使った方が機械振動を誘発しにくい第2の速度信号ω2\*が得られる。

【0074】図12は電動機模擬回路27のブロック図である。同図において、204は第3のトルク信号T3\*と模擬伝達トルク信号TFとの偏差信号(T3\*-TF)を入力して電動機のイナーシャJMの逆数を乗じ、模擬速度信号ωA1を出力する積分器、205は204の出力である模擬速度信号ωA1より模擬位置信号θA1を計算する積分器である。

【0075】同図のように構成することによって、第1の電動機模擬速度信号ωA1及び模擬位置信号θA1が得られる。

【0076】トルク制御の応答は通常位置及び速度制御の応答に比べ十分速いのでトルク制御手段5の伝達関数は1とおける。前述のように電動機模擬回路27は図2に示した機械系の電動機1の伝達関数を模擬するように設計される。同様にトルク伝達機構模擬回路10及び負荷機械模擬回路9はそれぞれ、図2のトルク伝達機構2及び負荷機械3の伝達関数を模擬するように設計される。このとき位置指令信号θM\*からみた電動機1の実位置信号θMの応答と位置指令信号θM\*からみた模擬位置信号θA1の応答は一致する。すなわち位置指令信号θM\*から電動機1の実位置信号θMまでの伝達関数は、位置指令信号θM\*から模擬位置信号θA1までの伝達関数に一致する。同様に、位置指令信号θM\*からみた負荷機械3の実位置信号θLと位置指令信号θM\*からみた負荷機械模擬回路9の出力(図示せず)は一致し、位置指令θM\*から負荷機械3の実位置信号θLまでの伝達関数は、位置指令信号θM\*から模擬位置信号(図示せず)までの伝達関数に一致する。したがって、位置指令信号θM\*から電動機1の実位置信号θMまでの伝達関数をGPM、位置指令信号θM\*から負荷機械3の実位置信号θLまでの伝達関数をGPLとすると、それぞれ式(9)、式(10)で表される。

【0077】

【数9】

$$G_{PM} = \frac{k_{P1}k_{V1}(S^2 + \omega_z^2)}{J_M \left[ S^4 + \frac{k_{CV} + k_{V1}}{J_M} S^3 + \left( \frac{k_{CP} + k_{P1}k_{V1}}{J_M} + \omega_s z \right) S^2 + \frac{k_{V1}\omega_z^2}{J_M} S + \frac{k_{P1}k_{V1}}{J_M} \omega_z^2 \right]} \quad \dots \dots (9)$$

【0078】

【数10】

$$G_{PL} = \frac{k_{p1}k_{v1}\omega_z^2}{J_M \left[ S^4 + \frac{k_{cv}+k_{v1}}{J_M} S^3 + \left( \frac{k_{cp}+k_{p1}k_{v1}}{J_M} + \omega_s^2 \right) S^2 + \frac{k_{v1}\omega_z^2}{J_M} S + \frac{k_{p1}k_{v1}}{J_M} \omega_z^2 \right]} \quad \dots \dots (10)$$

【0079】また、 $\omega_s$ ,  $\omega_z$  は前述の式(3)式(4)で表される。式(9)、式(10)に示した伝達関数GPM, GPLの各項の係数は、補償トルク演算回路14のゲインkCV, kCP、第1の位置制御回路25のゲインkP1および第1の速度制御回路16のゲインkV1によって操作できるので、所望の目標値応答特性を得ることができる。

【0080】次に、この発明における電動機の位置制御装置と図31に示した従来の電動機の位置制御装置よりも制御性能が優れていることをシミュレーションにより示す。制御対象は前述の図8に示したシミュレーションの場合と同様とする。

【0081】まず、図33は前述の従来の電動機の位置制御装置において位置指令をステップ状に与えた場合の目標値応答のシミュレーション結果を示した図である。同図(a)は、第1の位置制御回路25のゲインkP1、第2の位置制御回路21のゲインkP2、第1の速度制御回路16のゲインkV1、第2の速度制御回路8のゲインkV2, kI2を式(11)のように設定した場合であり、応答は振動的ではないものの応答性は低いことがわかる。

【0082】

【数11】

$$k_{p1}=0.14, k_{v1}=1.1, k_{p2}=0.14, k_{v2}=1.1, k_{i2}=0.055 \quad \dots \dots (11)$$

【0083】次に、図33-(b)は、応答性を上げるために各ゲインを式(12)のように設定した場合であり、応答は非常に振動的であることがわかる。

【0084】

【数12】

$$k_{p1}=0.37, k_{v1}=5.4, k_{p2}=0.14, k_{v2}=1.1, k_{i2}=0.055 \quad \dots \dots (12)$$

【0085】次に、この発明における電動機の速度制御装置のシミュレーション結果を示す。各制御回路のゲインは前述の従来の電動機の速度制御装置の場合と同じく式(12)のように設定した。また、補償トルク演算回路14のゲインkcp, kcvは式(13)のように設定した。

【0086】

【数13】

$$k_{p1}=0.37, k_{v1}=5.4, k_{p2}=0.14, k_{v2}=1.1, k_{i2}=0.055$$

$$k_{cv}=-3.3, k_{cp}=0.4 \quad \dots \dots (13)$$

【0087】図13は位置指令θM\*をステップ状に与えた場合の目標値応答のシミュレーション結果を示す図である。図33-(b)で示したように、従来技術では各制御回路のゲインが式(12)の設定では応答が振動的であるのに対し、図13では負荷機械の位置θLの応答は高速でかつオーバーシュートの非常に少ない良好な応答特性を示している。したがって、この発明による電動機の位置制御装置の方が図23に示した従来の電動機の位置制御装置よりも優れていることがわかる。さらに、速度制御装置では位置の調整は粗いものしか制御できないがこの回路によって位置の微調整が可能になる。

【0088】以上のように、速度及び位置制御装置をもうけたので位置の微調整が可能になる。また、従来の機械系模擬回路を電動機模擬装置、負荷機械模擬装置、トルク伝達機構模擬装置の各モデルに分けたので、モデル毎のゲイン設定が容易かつ高速度にできる。また、補償トルク演算回路を設けたので、図8における負荷機械の速度θLの応答の高速でかつオーバーシュートのない良好な応答特性を得ることが可能である。

【0089】実施例4. 尚、実施例3では補償トルク演算回路が付加された場合について説明したが、補

償トルク演算回路が付かない場合でも動作するのはいうまでもない。この場合、図1において減算器12、補償トルク演算回路14、減算器15を省いた回路となる。ここでは速度及び位置制御装置をもうけたので位置の微調整が可能になる。また、従来の機械系模擬回路を電動機模擬装置、負荷機械模擬装置、トルク伝達機構模擬装置の各モデルに分けたので、モデル毎のゲイン設定が容易かつ高速度にできる。

**【0090】**実施例5. この発明の別の実施例について図14～図20を参照しながら説明する。図14は図1においてイナーシャ同定回路とゲイン修正手段を付加した回路のブロック図である。同図において、同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。30は電動機模擬速度信号 $\omega A1$ から電動機実速度信号 $\omega M$ を減じて速度偏差信号( $\omega A1 - \omega M$ )(以降 $\Delta\omega$ と呼ぶ)を出力する減算器、28は $\Delta\omega$ が減少するように負荷機械3のイナーシャを同定するイナーシャ同定回路、29はイナーシャ同定回路28の出力である負荷機械のイナーシャ同定値 $JL*$ に基づいて制御回路の各ゲインを修正し出力するゲイン修正手段である。

**【0091】**また、31は減算器7の出力である速度偏差( $\omega A1 - \omega M$ )およびゲイン修正手段29の出力である $kV2$ ,  $kI2$ を入力して第2のトルク指令 $T2*$ を出力する第2の速度制御回路、32は負荷機械3の伝達関数を模擬するとともに模擬伝達トルク信号 $TF$ およびイナーシャ同定手段28の出力である負荷機械イナーシャ同定値 $JL*$ を入力して第2の模擬速度信号 $\omega A2$ を出力する負荷機械模擬回路、33は減算器17の出力である速度偏差( $\omega M* - \omega A1$ )およびゲイン修正手段29の出力である $kV1$ を入力して速度偏差( $\omega M* - \omega A1$ )が減少するように第1のトルク制御信号 $T1*$ を出力する第1の速度制御回路である。

**【0092】**その他の動作については実施例1と同じであるので説明は省略する。なお、補償トルク演算回路35についても同様である。

**【0093】**次に各部の実施例を説明する。図15は第2の速度制御回路31の実施例である。206はゲイン $kV2$ の係数器、207は積分ゲイン $kI2$ の積分器、208は加算器である。係数器206及び積分器207はそれぞれ、ゲイン修正手段29から修正ゲイン $kV2$ 及び $kI2$ が与えられるとゲインが更新される。

**【0094】**その他の動作は実施例1の図6で示した第2の速度制御回路8と同じであるので説明は省略する。

**【0095】**図16に第2の負荷機械模擬回路32の実施例を示す。209は積分ゲインが( $1/JL*$ )の積分器である。積分器209はイナーシャ同定回路28から新たな負荷機械イナーシャの同定値 $JL*$ が出力されると積分ゲインが更新される。

**【0096】**その他の動作は実施例1の図3で示した負荷機械模擬回路9と同じであるので説明は省略する。

**【0097】**図17に第1の速度制御回路33の実施例を示す。210はゲイン $kV1$ の係数器である。係数器210はゲイン修正手段29から新たなゲイン $kV1$ が与えられるとゲインが更新される。その他の動作は実施例1の図5で示した第1の速度制御回路16と同じであるので説明は省略する。

**【0098】**図18に補償トルク演算回路35の実施例を示す。211はゲイン $kCV$ の係数器、212は積分ゲインが $kCP$ の積分器である。係数器211および積分器212はそれぞれ、ゲイン修正手段29から新たなゲイン $kCV$ ,  $kCP$ が与えられるとゲインが更新される。その他の動作は実施例1の図4で示した補償トルク演算回路14と同じであるので説明は省略する。

**【0099】**次に、イナーシャ同定回路28の実施例について説明する。図19はイナーシャ同定回路28の実施例である。同図において、213は電動機の運転状態に応じた極性信号 $ST$ を出力する極性信号発生回路、214は速度偏差 $\Delta\omega$ と極性信号 $ST$ との積を出力する乗算器である。また、215は乗算器214の出力に積分ゲイン $KJ$ を乗じて積分する積分器、積分器215の出力とあらかじめ設定された負荷機械モデルイナーシャの初期値 $JL0*$ を合算しイナーシャ同定値 $JL*$ を出力する加算器である。図20は、イナーシャ同定値 $JL*$ に誤差がある状態で加減速運転した場合の第1の模擬速度信号 $\omega A1$ 、実速度信号 $\omega M$ および第1のトルク信号 $T1*$ の応答波形を示すグラフである。同図より、イナーシャ同定値 $JL*$ と負荷機械のイナーシャ $JL$ の大小関係と、速度偏差 $\Delta\omega$ ( $\omega A1 - \omega M$ )との間には次式が成立することがわかる。

**【0100】**

**【数14】**

$J_L^* < J_L$  の場合

$$\begin{array}{lll} T_i^* > 0 & \text{ならば} & \Delta \omega > 0 \\ & & \dots \dots (14) \\ T_i^* < 0 & \text{ならば} & \Delta \omega < 0 \end{array}$$

$J_L^* > J_L$  の場合

$$\begin{array}{lll} T_i^* > 0 & \text{ならば} & \Delta \omega < 0 \\ T_i^* < 0 & \text{ならば} & \Delta \omega > 0 \end{array}$$

【0101】式(14)が成立するから、極性信号発生回路213は、極性信号STを例えれば式(15)にしたがって出力すればよい。

【0102】

【数15】

$$\begin{array}{lll} T_i^* > 0 & \text{ならば} & S_T = 1 \\ T_i^* < 0 & \text{ならば} & S_T = -1 \\ T_i^* = 0 & \text{ならば} & S_T = 0 \end{array} \dots \dots (15)$$

【0103】このとき、積分器215の入力信号 $\Delta \omega \cdot ST$ は式(16)のようになる。

【0104】

【数16】

$$\begin{array}{ll} J_L^* < J_L & \text{の場合} \quad \Delta \omega \cdot S_T > 0 \\ J_L^* > J_L & \text{の場合} \quad \Delta \omega \cdot S_T < 0 \end{array} \dots \dots (16)$$

【0105】したがって、式(16)より、積分器215の出力は $JL^* < JL$ の場合は増加し、 $JL^* > JL$ の場合は減少することになるので、イナーシャ同定値 $JL^*$ が実際の負荷機械のイナーシャ値 $JL$ に一致するように修正される。

【0106】次に、ゲイン修正手段29の実施例について説明する。負荷機械模擬回路32のイナーシャ $JL^*$ が実際の負荷機械のイナーシャ $JL$ に一致している場合、本速度制御系の特性方程式は式(2)より、式(17)で表される。

【0107】

【数17】

$$S^3 + \frac{k_{CV} + k_{V1}}{J_M} S^2 + \left( \frac{k_{CP}}{J_M} + \omega_b^2 \right) S + \frac{k_{V1}}{J_M} \omega_b^2 = 0 \dots \dots (17)$$

【0108】式(17)の特性方程式の各項の係数を操作することにより、任意の目標値応答を得ることができる。今、式(17)の特性方程式の各項の係数を式(18)のように $a_2, a_1, a_0$ とおき、第1の速度制御回路33のゲイン $kV1$ 、及び補償トルク演算回路35のゲイン $kCV, kCP$ について解くと式(19)が得られる。

【0109】

【数18】

$$\frac{k_{cv} + k_{v1}}{J_m} = a_2$$

$$\frac{k_{cp}}{J_m} + \omega_s^2 = a_1 \quad \dots \dots (18)$$

$$\frac{k_{v1}}{J_m} \omega_z^2 = a_0$$

【0110】

【数19】

$$k_{v1} = \frac{J_m}{\omega_z^2} a_0$$

$$k_{cp} = J_m (a_1 - \omega_s^2) \quad \dots \dots (19)$$

$$k_{cv} = J_m \left( a_2 - \frac{a_0}{\omega_z^2} \right)$$

【0111】ただし、 $\omega_s$ 、 $\omega_z$  はそれぞれ式(3)、式(4)で表される。

【0112】次に負荷機械模擬回路32の積分ゲイン1/JL\*は、イナーシャ同定回路28の出力JL\*をそのまま使って修正すればよい。

【0113】また、第2の速度制御回路31のゲインkV2, kI2は式(19)によって得られたゲインを用いて、例えば式(20)のように修正すればよい。

【0114】

【数20】

$$k_{v2} = k_{v1} \quad \dots \dots (20)$$

$$k_{i2} = 0.1 \frac{k_{v1}}{J_m + J_L^*}$$

【0115】以上のように、第1の速度制御回路33のゲインkV1、負荷機械模擬回路32の積分ゲイン1/JL\*、第2の速度制御回路31のゲインkV2, kI2及び補償トルク演算回路35のゲインkCV, kCPをそれぞれ修正すれば、負荷機械のイナーシャJL が変化した場合でも、一定の応答を保つようになります、あるいはJL の大きさに応じて応答を変化させたりするなど所望の応答を得ることができる。

【0116】実施例6. 次に、この発明の実施例を図21を参照しながら説明する。図21は図9において、イナーシャ同定回路とゲイン修正手段を付加した回路のブロック図である。同図において、同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。36はイナーシャ同定回路28の出力であるイナーシャ同定値JL\*に基づいて制御回路の各ゲインを修正し出力するゲイン修正手段、37は位置偏差( $\theta M^* - \theta A1$ )とゲイン修正手段36の出力であるkP1を入力して位置偏差( $\theta M^* - \theta A1$ )が減少するよう第1の速度指令 $\omega_1^*$ を出力する第1の位置制御回路、38は位置偏差( $\theta A1 - \theta M$ )とゲイン修正手段36の出力であるkP2に基づいて位置偏差( $\theta A1 - \theta M$ )が減少するよう第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路である。その他の構成要素については実施例2および実施例3と同じであるので説明は省略する。また、31、32、33は実施例3と同様に動作するのはいうまでもない。

【0117】以下、ゲイン修正手段36の実施例について説明する。負荷機械模擬回路9のイナーシャJL\*が実際の負荷機械のイナーシャJL に一致している場合、本位置制御系の特性方程式は式(10)より、式(21)で表される。

【0118】

【数21】

$$S^4 + \frac{k_{cv} + k_{v1}}{J_m} S^3 + \left( \frac{k_{cp} + k_{p1} k_{v1}}{J_m} + \omega_s^2 \right) S^2 + \frac{k_{v1} \omega_z^2}{J_m} S + \frac{k_{p1} k_{v1}}{J_m} \omega_z^2 = 0$$

..... (21)

【0119】特性方程式の各項の係数を操作することにより、任意の目標値応答を得ることができる。いま、式(21)の特性方程式の各項の係数を式(22)のようにおく。

【0120】

【数22】

$$\frac{k_{cv} + k_{v1}}{J_m} = a_3$$

$$\frac{k_{cp} + k_{p1} k_{v1}}{J_m} + \omega_s^2 = a_2 \quad \dots \dots (22)$$

$$\frac{k_{v1} \omega_z^2}{J_m} = a_1$$

$$\frac{k_{p1} k_{v1} \omega_z^2}{J_m} = a_0$$

【0121】次に第1の速度制御回路33のゲインkV1、第1の位置制御回路37のゲインkP1、及び補償トルク演算回路35のゲインkCV, kCPについて式(22)を解くと式(23)が得られる。

【0122】

【数23】

$$k_{v1} = J_m \frac{a_1}{\omega_z^2}$$

$$k_{p1} = \frac{a_0}{a_1} \quad \dots \dots (23)$$

$$k_{cv} = J_m \left[ a_3 - \frac{a_1}{\omega_z^2} \right]$$

$$k_{cp} = J_m \left[ a_2 - \frac{a_0}{\omega_z^2} - \omega_s^2 \right]$$

【0123】次に負荷機械模擬回路32の積分ゲイン1/JL\*は、イナーシャ同定回路28の出力JL\*をそのまま使って修正すればよい。

【0124】また、第2の位置制御回路38のゲインkp2及び第2の速度制御回路8のゲインkV2, kI2は、式(21)によって得られたゲインを用いて、例えば式(24)のように修正すればよい。

【0125】

【数24】

$$k_{v2} = k_{v1}$$

$$k_{i2} = \frac{0.1 k_{v2}^2}{J_m + J_L^*} \quad \dots \dots (24)$$

$$k_{p2} = k_{p1}$$

【0126】以上のように、第1の位置制御回路37のゲインkP1、第1の速度制御回路33のゲインkV1、負荷機械模擬回路32の積分ゲイン1/JL\*、第2の位置制御回路38のゲインkp2、第2の速度制御回路31のゲインkV2, kI2及び補償トルク演算回路35のゲインkCV, kCPをそれぞれ修正すれば、負荷機械のイナーシャJLが変化した場合でも、一定の応答を保つようにしたり、あるいはJLの大きさに応じて応答を変化させたりするなど所望の応答を得ることができる。

【0127】実施例7.

図22は図9において、模擬位置信号 $\theta A1$ に補償演算を施した回路のブロック図である。同図において、図9と同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。40はトルク伝達機構模擬回路10からのトルク信号TFを入力して模擬速度信号 $\omega A2$ と第2の模擬位置信号 $\theta A2$ を出力する負荷機械模擬回路、44は電動機模擬回路27からの第1の模擬位置信号 $\theta A1$ から負荷機械模擬回路40からの第2の模擬位置信号 $\theta A2$ を減じた偏差信号( $\theta A1 - \theta A2$ )を出力する減算器である。また、42は第1の模擬位置信号 $\theta A1$ と第2の模擬位置信号 $\theta A2$ との偏差信号( $\theta A1 - \theta A2$ )を入力して補償速度信号 $\omega C$ を出力する補償速度演算回路であり、この補償速度信号 $\omega C$ を加算器43において第1の位置制御回路25の出力信号 $\omega 1 *$ と加えることにより第2の模擬位置信号 $\theta A2$ が第1の模擬位置信号 $\theta A1$ に追従できるようにしたものである。41は電動機模擬回路27からの第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と負荷機械模擬回路40からの第2の模擬速度信号 $\omega A2$ との偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を入力してトルク信号 $Tc$ を出力する補償トルク演算回路である。

【0128】図23は負荷機械模擬回路40のブロック図である。同図において、300はトルク信号TFを入力してイナーシャ $JL *$ の逆数をゲインとして積分して模擬速度信号 $\omega A2$ を出力する積分器、301は模擬速度信号 $\omega A2$ を積分して模擬位置信号 $\theta A2$ を出力する積分器である。

【0129】また、図24は補償トルク演算回路41のブロック図である。同図において、302は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と第2の模擬速度信号 $\omega A2$ との偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を入力してゲイン $KC1$ で増幅してトルク信号 $TC$ を出力する係数器である。

【0130】また、図25は補償速度演算回路42のブロック図である。同図において、303は第1の模擬位置信号 $\theta A1$ と第2の模擬位置信号 $\theta A2$ との偏差信号( $\theta A1 - \theta A2$ )を入力してゲイン $KC2$ で増幅して $\omega C$ を出力する係数器である。

【0131】この構成をとることにより、負荷機械で発生する機械振動を抑制することができる。

【0132】次に、この動作について図22を参照しながら説明する。負荷の変動により負荷機械模擬回路40からの第2の模擬位置信号 $\theta A2$ が変化すると、電動機模擬回路27からの第1の模擬位置信号 $\theta A1$ と負荷機械模擬回路40からの第2の模擬位置信号 $\theta A2$ とにずれが生じる。例えば、第1の模擬位置信号 $\theta A1$ よりも第2の模擬位置信号 $\theta A2$ が大きくなれば、減算器44において、第1の模擬位置信号 $\theta A1$ から第2の模擬位置信号 $\theta A2$ が減じられ、偏差信号( $\theta A1 - \theta A2$ )が出力される。この信号は補償速度演算回路42において、ゲイン $KC2$ で増幅され、補償速度信号 $\omega C$ を出力する。この補償速度信号 $\omega C$ は負の値であり、第1の位置制御回路25からの第1の速度信号 $\omega 1 *$ に加算することにより速度を減じる。この信号は第1の速度制御回路16において、第1のトルク信号 $T1 *$ に変換した上で電動機模擬回路27に供給するので追従できる。逆の場合も同様なので説明を省略する。その他の回路の動作については図9と同様である。

【0133】以上、上記の構成においては、補償トルク演算回路だけでなく補償速度演算回路を負荷したので負荷機械で発生する機械振動を抑制することができ、高速で高精度な位置制御が可能になる。

【0134】実施例8、図26は図22にイナーシャ同定回路とゲイン修正手段を追加した回路のブロック図である。同図において、図21と同じ符号で示されたものは同一もしくは同等なものを示す。30は第1の速度信号 $\omega A1$ から位置速度検出器からの位置速度信号 $\omega M$ を減じて偏差信号( $\omega A1 - \omega M$ )を出力する減算器、28は偏差信号( $\omega A1 - \omega M$ )を入力して負荷機械模擬回路のイナーシャを同定するイナーシャ同定回路、36はナーシャ同定回路28からのイナーシャ同定信号 $JL *$ を入力して各種のゲインを出力するゲイン修正手段である。なお、45は負荷機械模擬回路、47は補償速度演算回路であり、ゲイン修正手段36からの $KC2$ 信号に基づいて補償速度演算回路47のゲイン $KC2$ を修正することが可能である。

【0135】図27は負荷機械模擬回路45のブロック図である。同図において、304はトルク信号TFを入力してイナーシャ $JL *$ の逆数をゲインとして積分して模擬速度信号 $\omega A2$ を出力する積分器、301は模擬速度信号 $\omega A2$ を積分して模擬位置信号 $\theta A2$ を出力する積分器である。また、イナーシャ $JL$ はイナーシャ同定回路による同定が可能である。

【0136】また、図28は補償トルク演算回路46のブロック図である。同図において、306は第1の模擬速度信号 $\omega A1$ と第2の模擬速度信号 $\omega A2$ との偏差信号( $\omega A1 - \omega A2$ )を入力してゲイン $KC1$ で増幅してトルク信号 $TC$ を出力する係数器である。また、ゲイン $KC1$ はゲイン修正回路による修正が可能である。

る。

【0137】また、図29は補償速度演算回路42のブロック図である。同図において、307は第1の模擬位置信号θA1と第2の模擬位置信号θA2との偏差信号(θA1-θA2)を入力してゲインKc2で増幅してωC1を出力する係数器である。また、ゲインKc2はゲイン修正回路による修正が可能である。

【0138】この時の式(9)～式(17)に対応する式は以下の通り式(25)～式(30)のようになる。

【0139】

【数25】

$$G_{PM} = \frac{K_{P1}K_{V1}(S^2 + \omega_z^2)}{J_M \left[ S^4 + \frac{K_{C1} + K_{V1}}{J_M} S^3 + \left\{ \frac{K_{V1}(K_{C2} + K_{P1})}{J_M} + \omega_s^2 \right\} S^2 + \frac{K_{V1}\omega_z^2}{J_M} S + \frac{K_{P1}K_{V1}}{J_M} \omega_z^2 \right]} \quad \dots \quad (25)$$

【0140】

【数26】

$$G_{PL} = \frac{K_{P1}K_{V1}\omega_z^2}{J_M \left[ S^4 + \frac{K_{C1} + K_{V1}}{J_M} S^3 + \left\{ \frac{K_{V1}(K_{C2} + K_{P1})}{J_M} + \omega_s^2 \right\} S^2 + \frac{K_{V1}\omega_z^2}{J_M} S + \frac{K_{P1}K_{V1}}{J_M} \omega_z^2 \right]} \quad \dots \quad (26)$$

【0141】

【数27】

$$K_{P1} = 0.37, \quad K_{V1} = 5.4, \quad K_{P2} = 0.14, \quad K_{V2} = 1.1, \quad K_{C2} = 0.055$$

$$K_{C1} = -3.3, \quad K_{Ca} = 0.074 \quad \dots \quad (27)$$

【0142】

【数28】

$$S^4 + \frac{K_{C1} + K_{V1}}{J_M} S^3 + \left\{ \frac{K_{V1}(K_{C2} + K_{P1})}{J_M} + \omega_s^2 \right\} S^2 + \frac{K_{V1}\omega_z^2}{J_M} S + \frac{K_{P1}K_{V1}}{J_M} \omega_z^2 = 0 \quad \dots \quad (28)$$

【0143】

【数29】

$$\frac{K_{C1} + K_{V1}}{J_M} = a_3$$

$$\frac{K_{V1}(K_{C2} + K_{P1})}{J_M} + \omega_s^2 = a_2$$

$$\frac{K_{V1}\omega_z^2}{J_M} = a_1$$

$$\frac{K_{P1}K_{V1}}{J_M} \omega_z^2 = a_0$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \quad \dots \quad (29)$$

【0144】

【数30】

$$\left. \begin{aligned}
 K_{V1} &= J_s \frac{a_1}{\omega_z^2} \\
 K_{P1} &= \frac{a_0}{a_1} \\
 K_{C1} &= J_s \left[ a_3 - \frac{a_1}{\omega_z^2} \right] \\
 K_{C2} &= \left[ a_2 - \frac{a_0}{\omega_z^2} - \omega_s^2 \right] \frac{\omega_z^2}{a_1}
 \end{aligned} \right\} \cdots \quad (30)$$

【0145】この構成をとることにより、負荷機械のイナーシャが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、所望の応答特性を備えた速度制御あるいは位置制御を行える。また、実施例7と同様に負荷機械で発生する機械振動を抑制することが可能である。

【0146】

【発明の効果】以上のように、第1の発明によれば、第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号を出力する電動機モデルと、前記模擬伝達トルク信号を入力して前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する負荷機械モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力するトルク伝達機構モデルと、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、を備え、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又はトルク制御手段を制御するので、電動機模擬回路、負荷機械模擬回路、トルク伝達機構模擬回路毎にゲイン設定が容易に行なえ、従来よりも正確な値が所定の時間内に設定できるという効果とともに、速度指令信号に対してオーバーシュートや振動が極めて少ない高応答な速度制御が実現できるという効果がある。

【0147】また、第2の発明によれば、外部からの位置指令信号と電動機の模擬位置を示す第1の模擬位置信号との偏差信号を入力して第1の速度信号を出力する第1の位置制御手段と、前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号と前記電動機の模擬速度を示す第1の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬位置信号が前記位置指令信号に対して所望の応答特性を有するよう第1のトルク信号を出力する第1の速度制御手段と、前記第1の速度制御手段からの第1のトルク信号と前記電動機に接続されるトルク伝達機構の模擬伝達トルクを示す模擬伝達トルク信号との偏差信号を入力して前記第1の模擬速度信号と第1の模擬位置信号を出力する電動機モデルと、前記模擬伝達トルク信号を入力して、前記電動機に前記トルク伝達機構を介して接続される負荷機械の模擬速度を示す第2の模擬速度信号を出力する負荷機械モデルと、前記電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号との偏差信号を入力して前記模擬伝達トルク信号を出力するトルク伝達機構モデルと、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、を備え、この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を第1の速度制御手段からの第1のトルク信号から差し引いた偏差信号によって前記電動機モデル又はトルク制御手段を制御するので、電動機模擬回路、負荷機械模擬回路、トルク伝達機構模擬回路毎にゲイン設定が容易に行なえ、従来よりも正確な値が所定の時間内に設定できるだけでなく、位置の制御が高速で高精度にできるという効果とともに、速度指令信号に対してオーバーシュートや振動が極めて少ない高応答な速度制御が実現できるという効果がある。

【0148】

【0149】

【0150】

【0151】また、第3の発明によれば、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速

度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて補償トルク演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたので、負荷機械のイナーシャが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、所望の応答特性を備えた速度制御を行えるという効果がある。

【0152】また、第4の発明によれば、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を逐次出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて前記補償トルク演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたので、負荷機械のイナーシャが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、所望の応答特性を備えた速度制御あるいは位置制御を行えるという効果がある。

【0153】また、第5の発明によれば、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬速度信号の偏差信号を入力して補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段と、前記電動機モデルからの第1の模擬位置信号と前記負荷機械モデルからの第2の模擬位置信号の偏差信号を入力して補償速度信号を出力する補償速度演算手段を備え、この補償速度演算手段からの補償速度信号を前記第1の位置制御手段からの第1の速度信号に加えた後、第1の速度制御手段に供給し、第1の速度制御手段からの第1のトルクと前記補償トルク演算手段からの補償トルク信号とに基づいて前記電動機モデル又はトルク制御回路を制御するので、負荷機械の振動を抑制し、高速で高精度な位置制御が可能になるという効果がある。

【0154】また、第6の発明によれば、電動機モデルからの第1の模擬速度信号と電動機の実際の速度信号との偏差信号を入力してイナーシャ同定信号を出力するイナーシャ同定手段と、このイナーシャ同定手段からのイナーシャ同定信号に基づいて補償速度演算手段のゲインを修正するゲイン修正手段を備えたので、負荷機械のイナーシャが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、所望の応答特性を備えた速度制御あるいは位置制御を行えるという効果がある。

## 図の説明

### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施例を示すブロック図である。

【図2】電動機、トルク伝達機構および負荷機械からなる機械系の構成を示す図である。

【図3】この発明の一実施例の電動機模擬回路、トルク伝達機構模擬回路および負荷機械模擬回路のブロック図である。

【図4】この発明の補償トルク演算回路のブロック図である。

【図5】この発明の第1の速度制御回路のブロック図である。

【図6】この発明の第2の速度制御回路のブロック図である。

【図7】この発明のトルク制御回路のブロック図である。

【図8】この発明の動作を説明するためのシミュレーション結果を示す図である。

【図9】図1に示された電動機の速度制御回路に位置制御回路を付加した回路のブロック図である。

【図10】この発明の第1の位置制御回路のブロック図である。

【図11】この発明の第2の位置制御回路のブロック図である。

【図12】この発明の電動機模擬回路のブロック図である。

【図13】この発明の動作を説明するためのシミュレーション結果を示す図である。

【図14】図1においてイナーシャ同定回路とゲイン修正手段を付加した回路のブロック図である。

【図15】この発明の第2の速度制御回路のブロック図である。

【図16】この発明の負荷機械模擬回路のブロック図である。

【図17】この発明の第1の速度制御回路のブロック図である。

【図18】この発明の補償トルク回路の別の実施例を示すブロック図である。

【図19】この発明のイナーシャ同定回路の実施例を示すブロック図である。

【図20】この発明のイナーシャ同定回路の動作の説明図である。

【図21】図9において、イナーシャ同定回路とゲイン修正手段を付加した回路のブロック図である。

【図22】図9において、模擬位置信号θA1に補償演算を施した回路のブロック図である。

【図23】負荷機械模擬回路40のブロック図である。

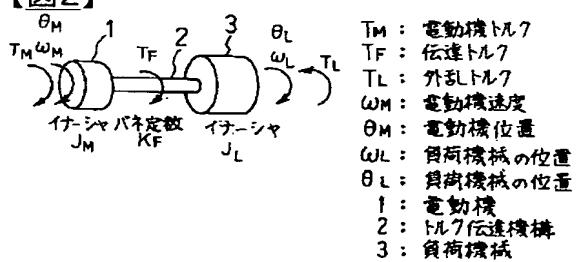
- 【図24】補償トルク演算回路41のブロック図である。
- 【図25】補償速度演算回路42のブロック図である。
- 【図26】図22にイナーシャ同定回路とゲイン修正手段を追加した回路のブロック図である。
- 【図27】負荷機械模擬回路45のブロック図である。
- 【図28】補償トルク演算回路46のブロック図である。
- 【図29】補償速度演算回路47のブロック図である。
- 【図30】従来の電動機の速度制御装置のブロック図である。
- 【図31】従来の電動機の位置制御装置のブロック図である。
- 【図32】従来の電動機の速度制御装置の動作を説明するためのシミュレーション結果である。
- 【図33】従来の電動機の位置制御装置の動作を説明するためのシミュレーション結果である。

【符号の説明】

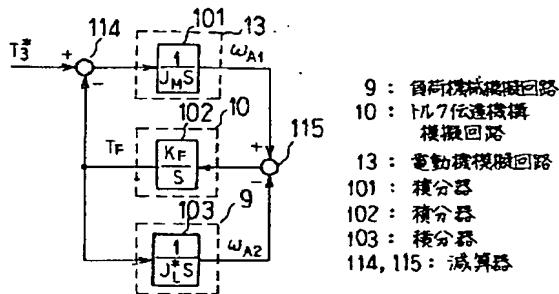
1 電動機、2 トルク伝達機構、3 負荷機械、4 速度検出器、5 トルク制御手段、6 加算器、7 減算器、8 第2の速度制御回路、9 負荷機械模擬回路、10 トルク伝達機構模擬回路、11, 12 減算器、13 電動機模擬回路、14 補償トルク演算回路、15 減算器、16 第1の速度制御回路、17, 18 減算器、19 位置速度検出器、20 減算器、21 第2の位置制御回路、22 加算器、23, 24 減算器、25 第1の位置制御回路、26 減算器、27 電動機模擬回路、28 イナーシャ同定回路、29 ゲイン修正手段、30 減算器、31 第2の速度制御回路、32 負荷機械模擬回路、33 第1の速度制御回路、35 補償トルク演算回路、36 ゲイン修正手段、37 第1の位置制御回路、38 第2の位置制御回路、39 減算器、40 負荷機械模擬回路、41 補償トルク演算回路、42 補償速度演算回路、43 加算器、44 減算器、45 負荷機械模擬回路、46 補償トルク演算回路、47 補償速度演算回路、50 減算器、51 第1の速度制御回路、52 機械系模擬回路、53 第2の速度制御回路、54 減算器、55 加算器、56 減算器、57 第1の位置制御回路、58 機械系模擬回路、58a, 58b 積分器、59 減算器、60 第2の位置制御回路、61 加算器、62 減算器、101, 102, 103 積分器、104 係数器、105 積分器、106 加算器、107 係数器、108 係数器、109 積分器、110 加算器、111 係数器、112 電流検出器、113 電流制御回路、114, 115 減算器、201, 202 係数器、204, 205 積分器、206 係数器、207 積分器、208 加算器、209 積分器、210 係数器、211 係数器、212 積分器、213 加算器、214 乗算器、215 積分器、216 加算器、300 積分器、301 積分器、302 係数器、303 係数器。

## 図面

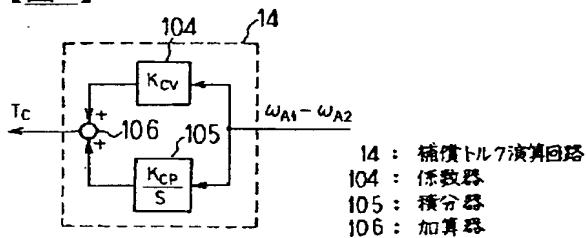
【図2】



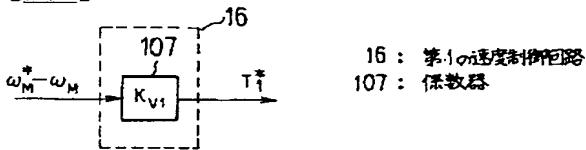
【図3】



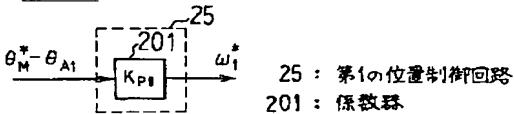
### 【図4】



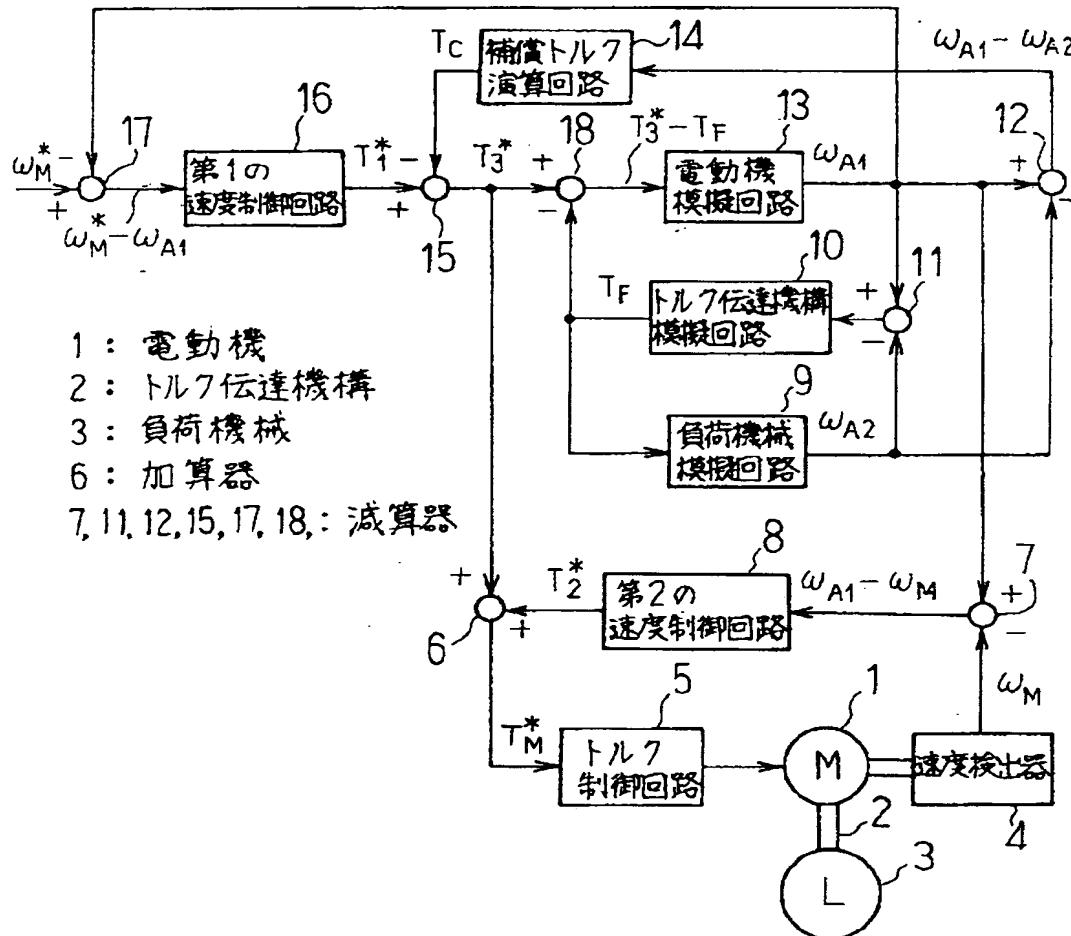
【四5】



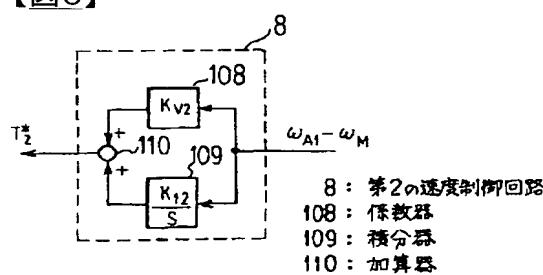
【図10】



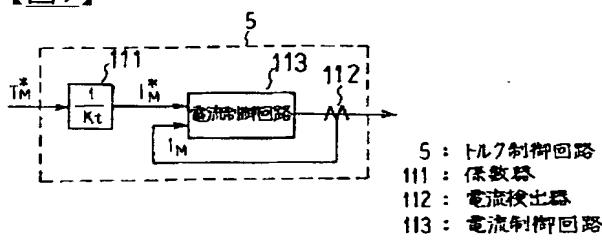
### 【図1】



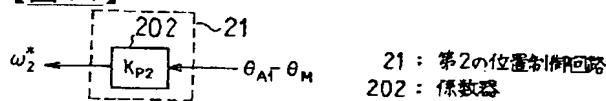
【図6】



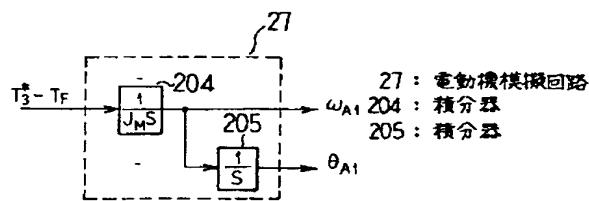
【図7】



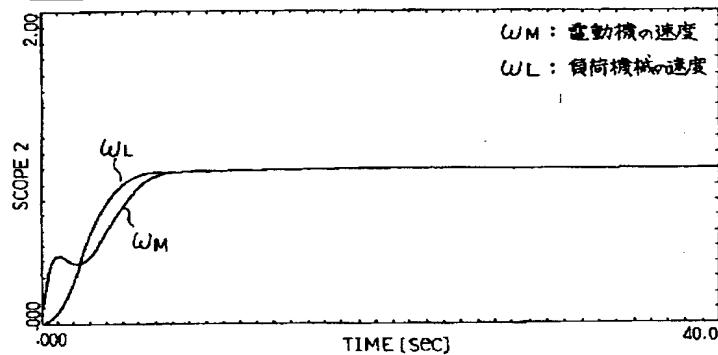
【図11】



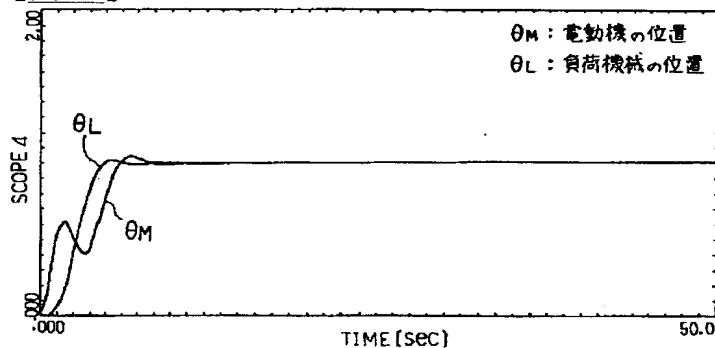
【図12】



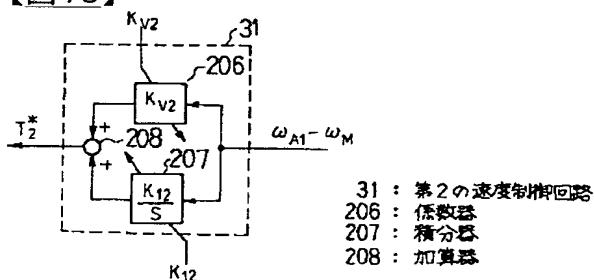
【図8】



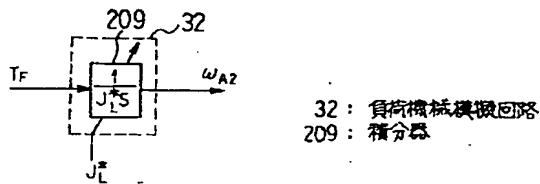
【図13】



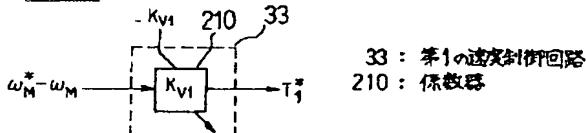
【図15】



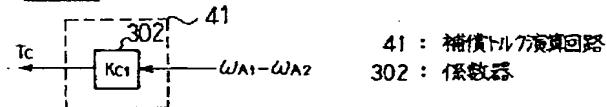
【図16】



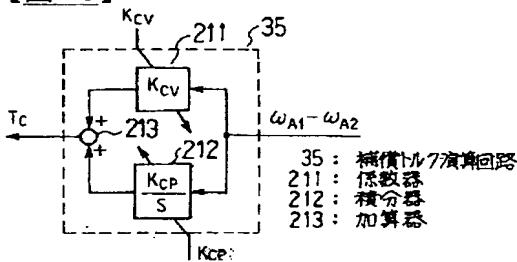
【図17】



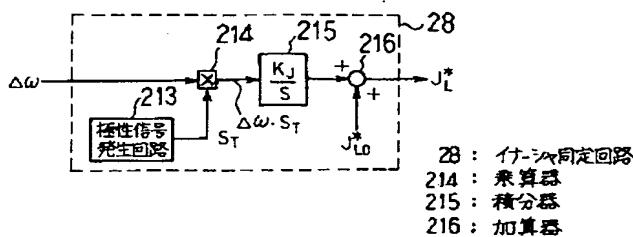
【図24】



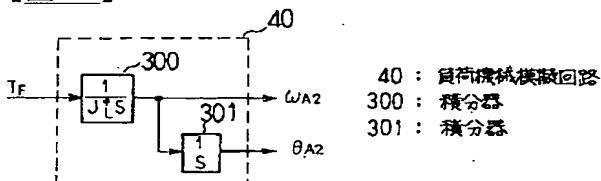
【図18】



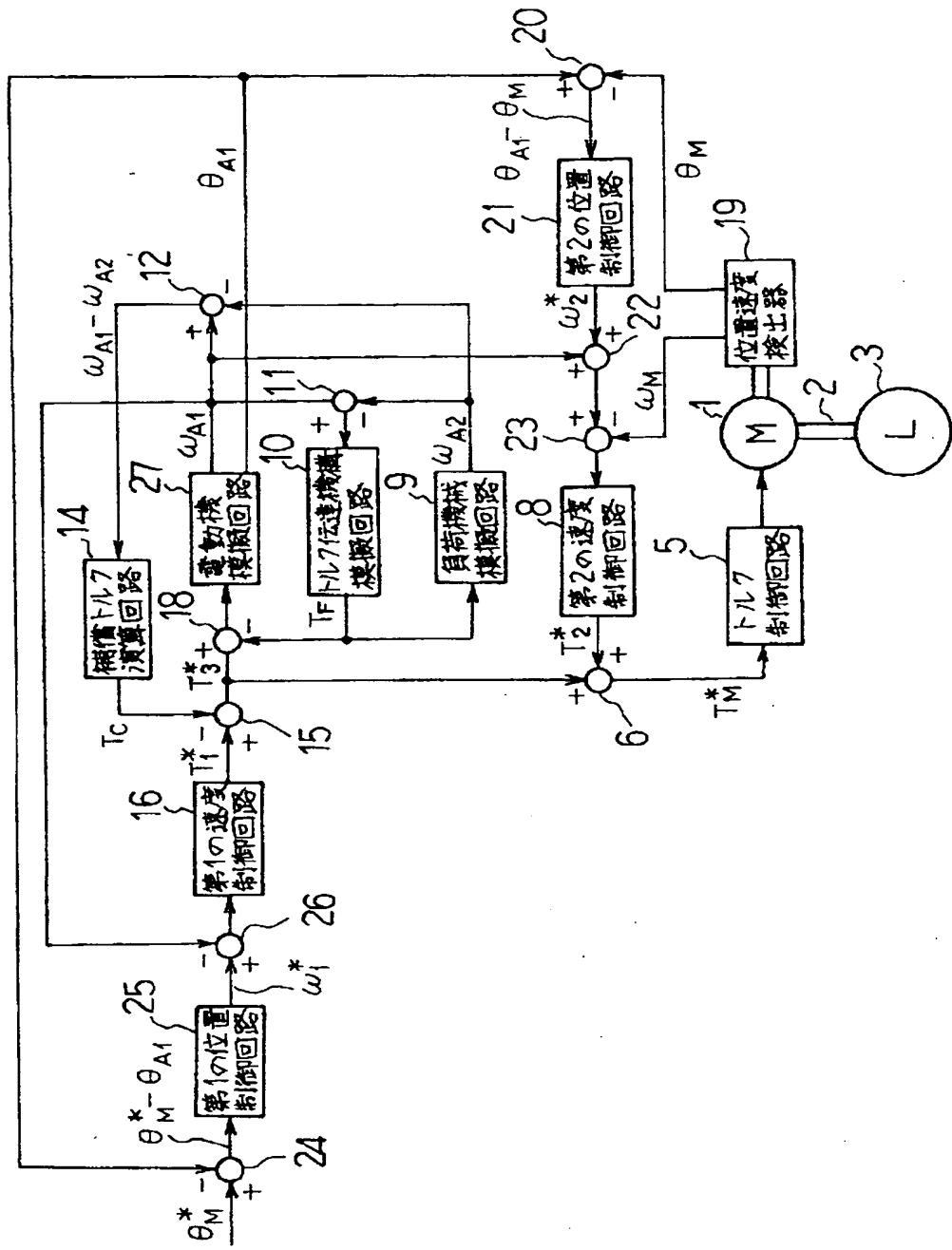
【図19】



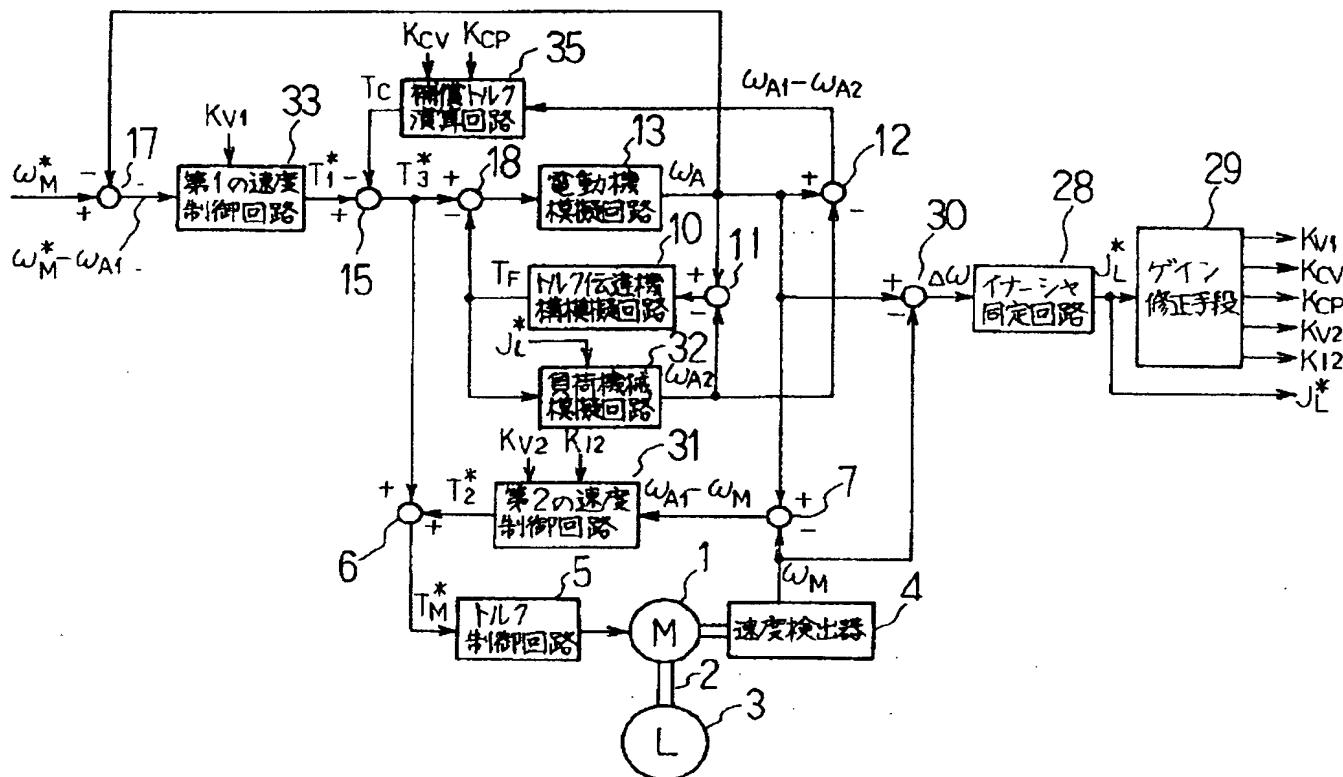
【図23】



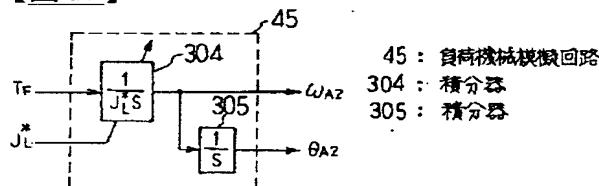
【図9】



【図14】

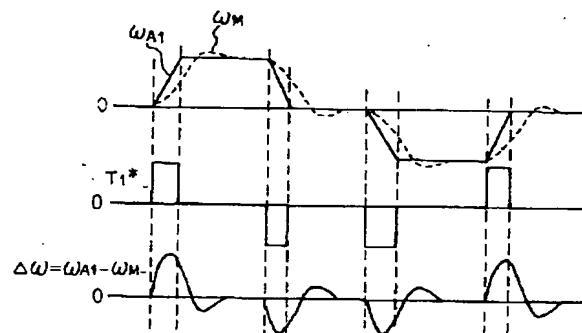
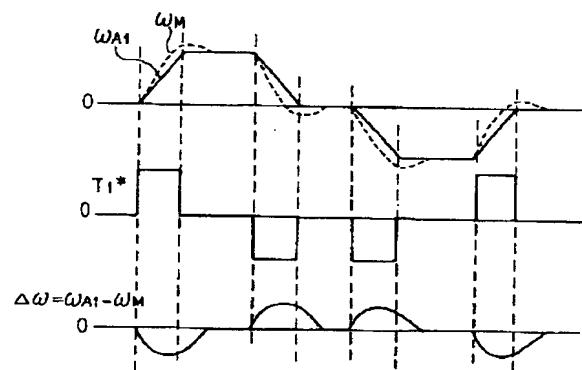


【図27】

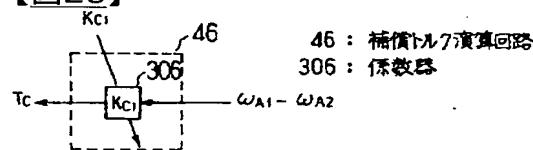


45: 負荷機械模擬回路  
304: 積分器  
305: 積分器

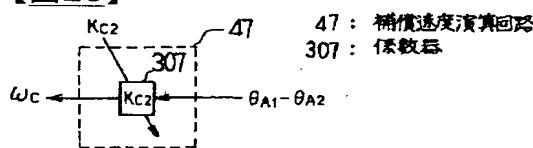
【図20】

(a)  $JL^* < JL$  の場合(b)  $JL^* > JL$  の場合

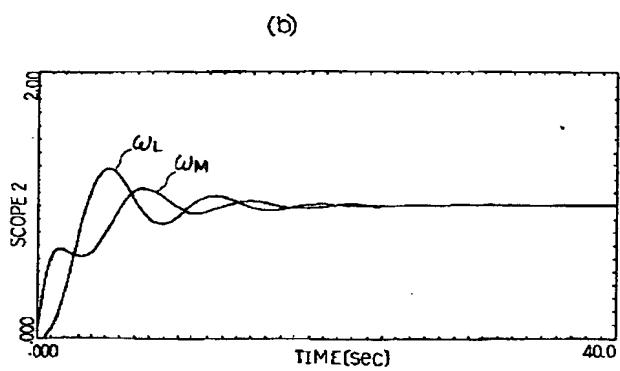
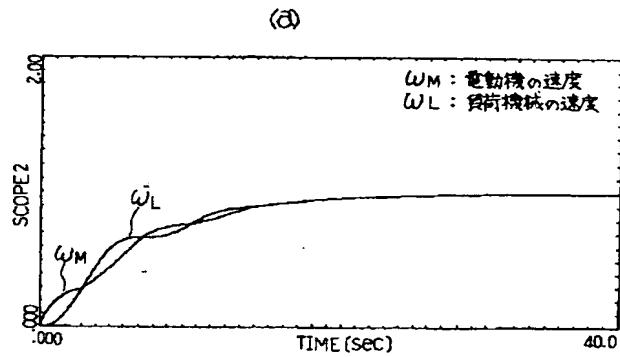
【図28】



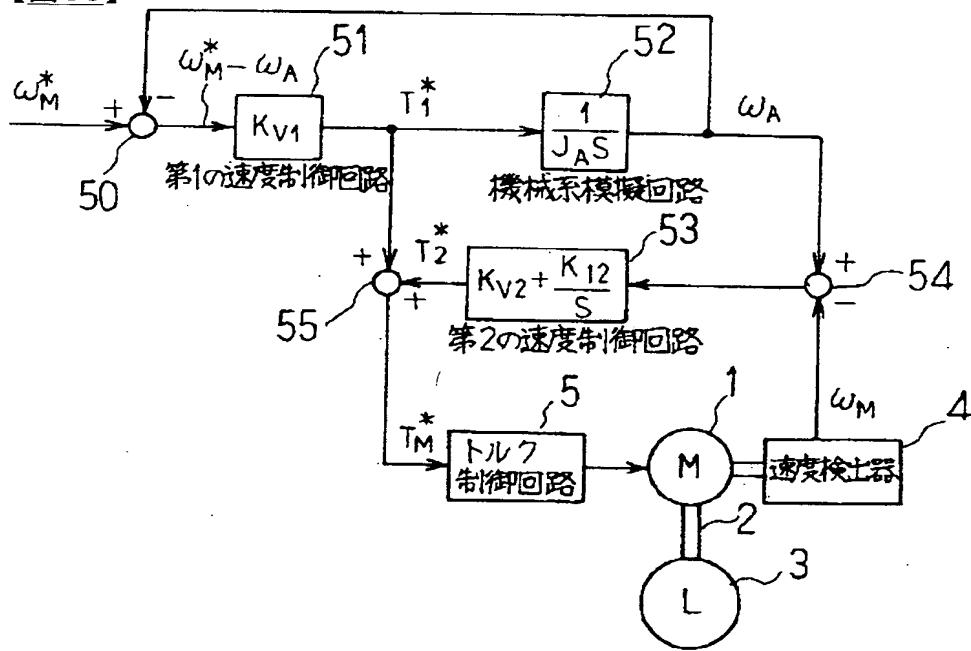
【図29】

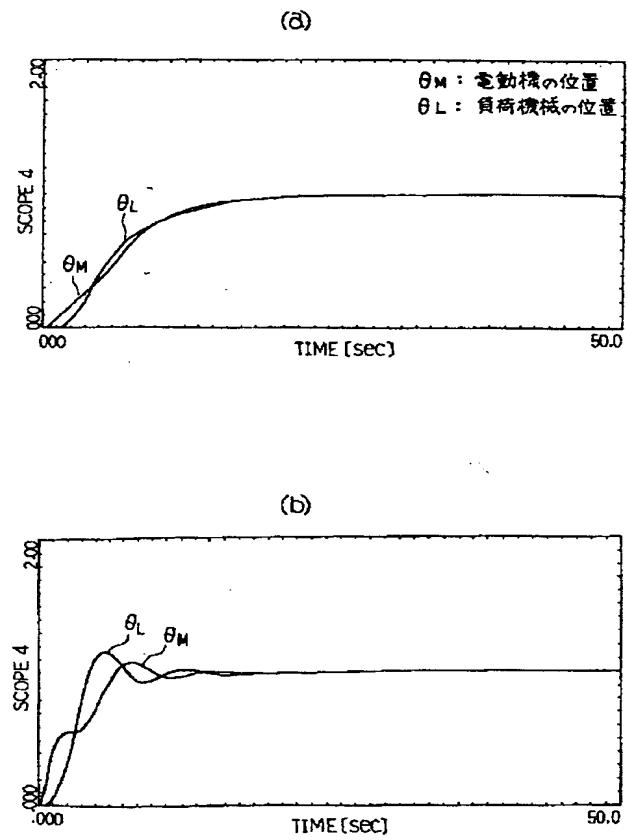


【図32】

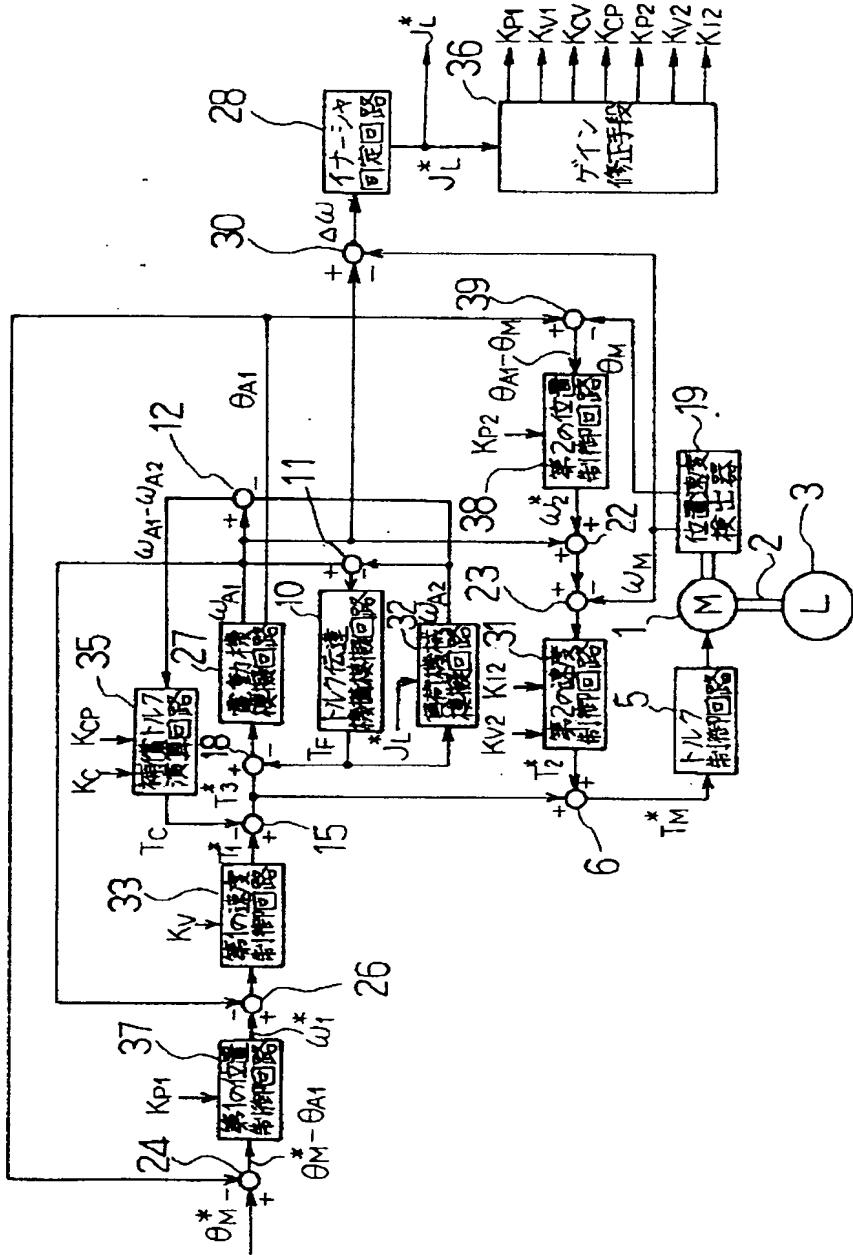


【図30】

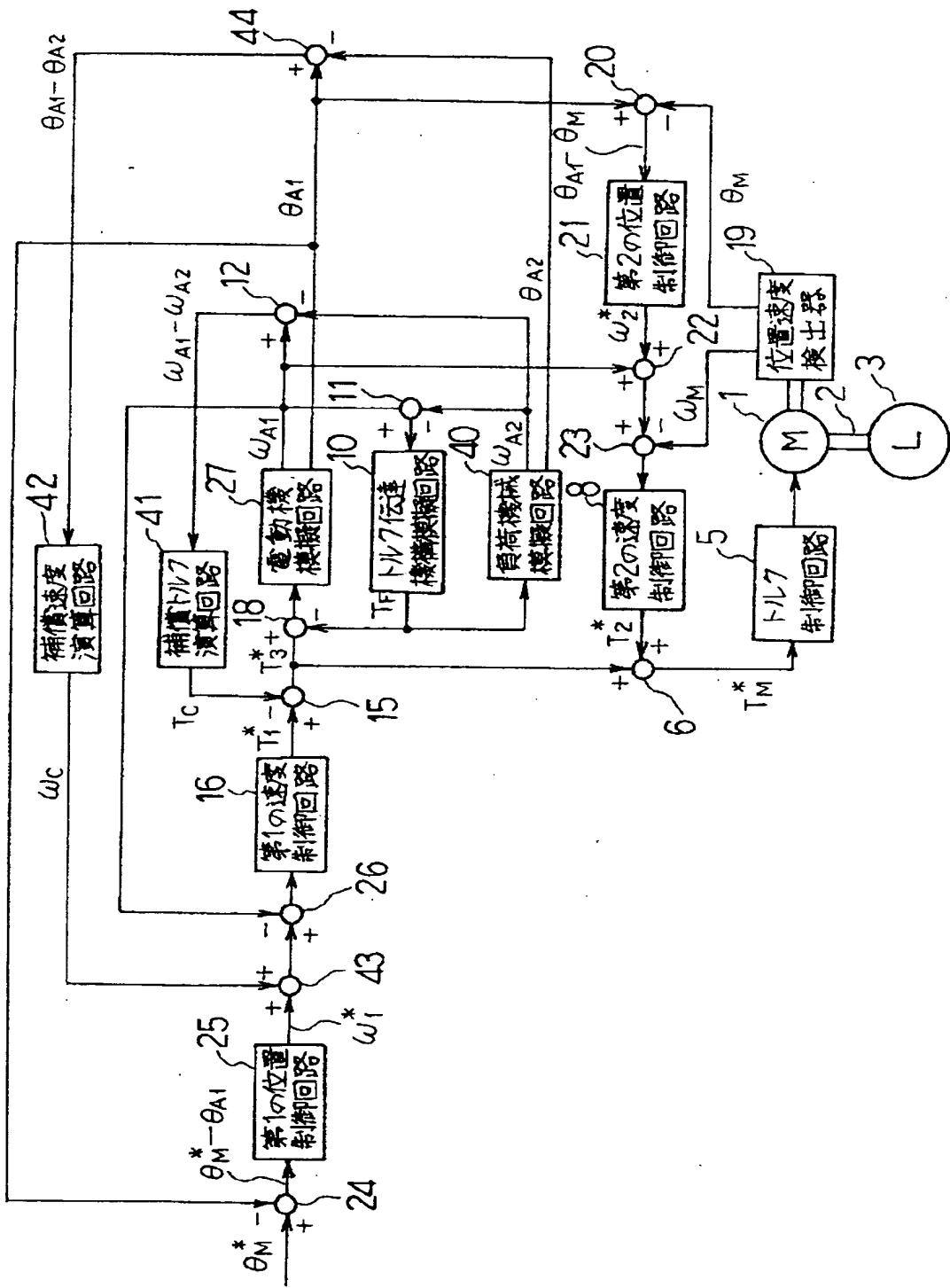




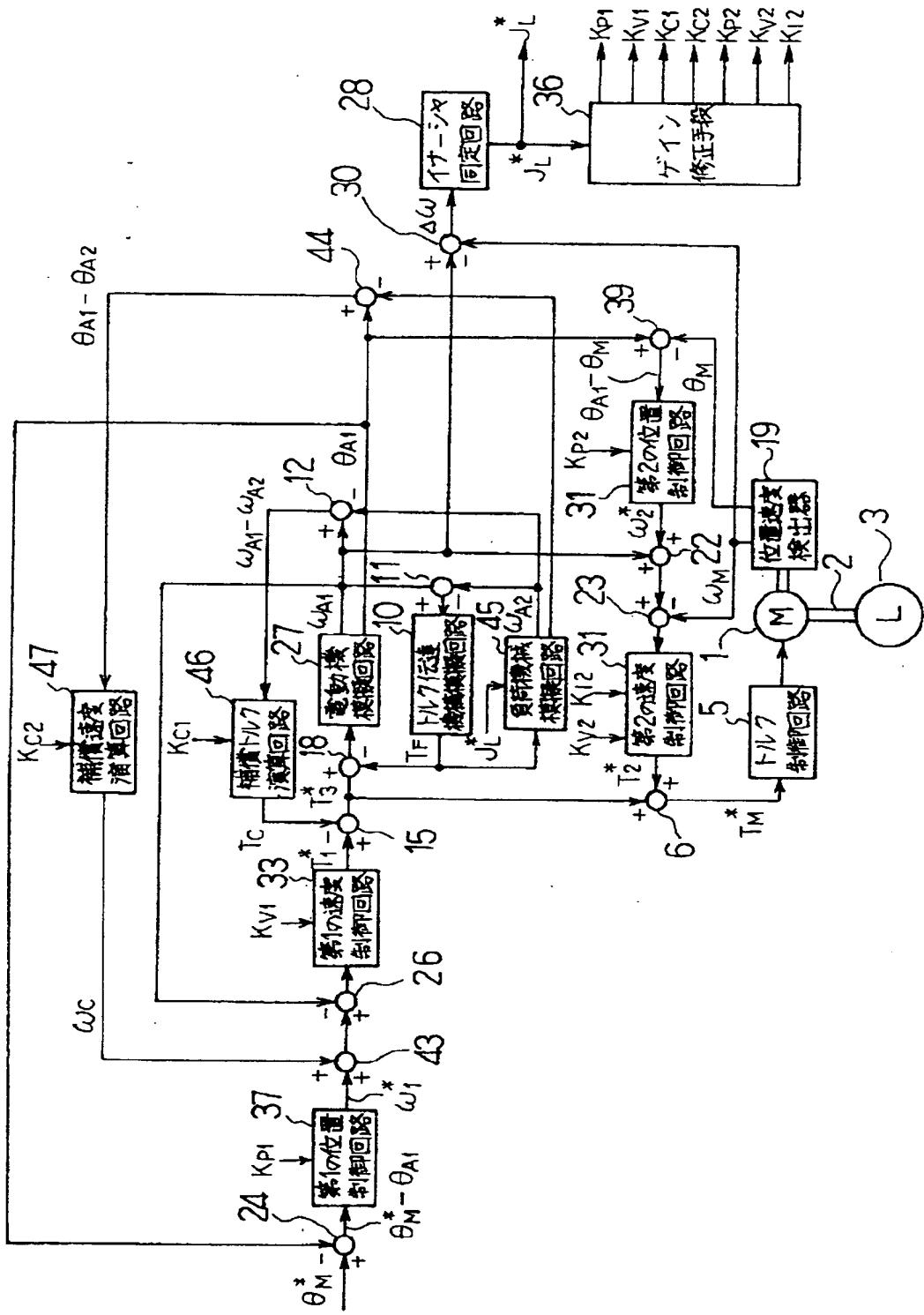
【図21】



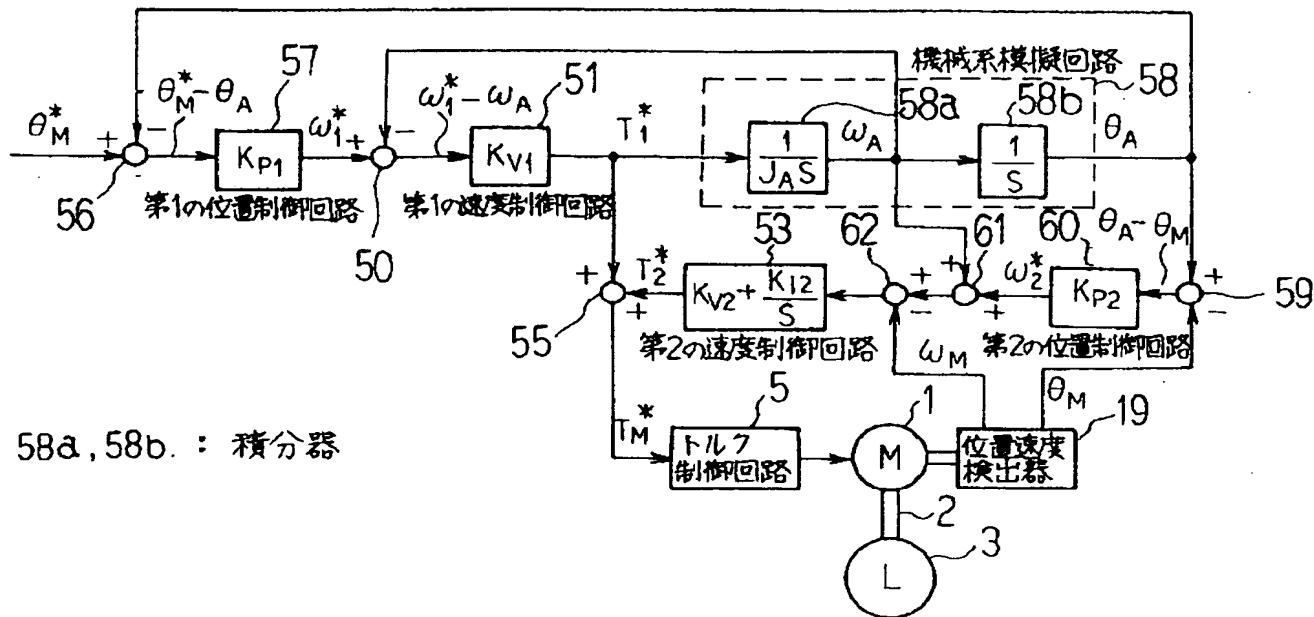
【图22】



【図26】



【図31】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**